

Aus dem Institut
für Lebensmittelhygiene
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

**Untersuchungen zur Todeskontrolle von Schlachtschweinen
nach Elektrobetäubung –
Einsatz eines automatisierten Heißwasser-Reiz-Verfahrens und
Bewertung von Spontanbewegungen auf der Nachentblutestrecke**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)
durch die Veterinärmedizinische Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von
Sophie Arnold
aus Nürnberg

Leipzig, 2015

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Manfred Coenen

Betreuer: Prof. Dr. Ernst Lücker
Prof. Dr. Klaus Troeger

Gutachter: Prof. Dr. Ernst Lücker,
Institut für Lebensmittelhygiene, Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig
Prof. Dr. Klaus Troeger,
Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,
Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch, Standort Kulmbach
Ass.-Prof. Dr. Peter Paulsen,
Institut für Fleischhygiene, Department für Nutztiere und öffentliches
Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin, Veterinärmedizinische Universität
Wien

Tag der Verteidigung: 03. November 2015

Begleitende Einrichtung:

Max Rubner-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel
Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch
- Standort Kulmbach -

*Gefördert durch das Programm zur Innovationsförderung des damaligen Bundesministeriums für
Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) durch die Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung (BLE) und
durch ein Stipendium der Fördergesellschaft für Fleischforschung e.V.*

“The least I can do is speak out for those who cannot speak for themselves”

Dr. Jane Goodall

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Rechtlicher Hintergrund zum Todeseintritt von Schlachtschweinen	3
2.2 Philosophische Betrachtungen zum Töten von Tieren	3
2.3 Human- und Veterinärmedizinische Definitionen des Todeseintritts.....	4
2.4 Kontrolle des Todeseintritts beim Menschen.....	5
2.5 Kontrolle des Todeseintritts bei Schlachtschweinen.....	6
2.5.1 Anatomische, physiologische und neuronale Grundlagen.....	6
2.5.2 Allgemeine Pathophysiologie des Hirntodes	7
2.5.3 Neuronale Verschaltung und muskuläre Antwort auf Schmerzreize.....	8
2.5.4 Einsatz verschiedener Schmerzreize	10
2.5.5 Einfluss der Betäubungsverfahren auf die Todeskontrolle	11
2.5.6 Einfluss des Entbluteverfahrens auf die Todeskontrolle.....	13
2.5.7 Kriterien der klinischen Untersuchung zur Todeskontrolle	14
2.5.8 Stand der Technik automatisierter Verfahren zur Todeskontrolle von Schweinen...	15
3 Tiere, Material, Methoden	17
3.1 Überblick	17
3.2 Schlachtbetriebe.....	18
3.3 Schweine.....	18
3.4 Einsatz eines automatisierten Reizverfahrens	19
3.4.1 Vorversuch: Reizung mittels Heißwasser, Kaltwasser und Strom	19
3.4.2 Hauptversuch: Reizung mittels Heißwasser.....	20
3.4.3 Entwicklung der automatisierten Wasserreisanlage.....	21
3.4.4 Versuchsablauf, Aufzeichnungs- und Auswertemethodik.....	25
3.4.5 Untersuchung der Gehirnnerven nach Reizapplikation	27
3.5 Spontanbewegungen auf der Nachentblutestrecke.....	28
3.6 Bewegungen beim Anschlingen.....	28
3.7 Elektrische Nachbetäubung auf der Nachentblutestrecke	28

3.8	Statistische Analysen.....	29
4	Ergebnisse	31
4.1	Vorversuch: Reizung mittels Heißwasser, Kaltwasser und Strom	31
4.2	Hauptversuch: Reizapplikation mittels Heißwasser.....	32
4.2.1	Vorkommen von Bewegung während der Heißwasser-Reizapplikation	33
4.2.2	Befunde der Gehirnnerven-Untersuchung	34
4.2.3	Gehirnnerven-Befunde der Schweinen in Korrelation mit Reaktionen auf den Heißwasser-Reiz	36
4.2.4	Erkennbarkeit der Bewegungen während der Heißwasser-Reizapplikation	37
4.2.5	Neugestaltung des Auswerteschemas der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation	39
4.2.6	Vorkommen von Bewegungsmustern während der Heißwasser-Reizapplikation	40
4.2.7	Erkennbarkeit der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation....	42
4.2.8	Zusammenhang zwischen den Bewegungsmustern und den Gehirnnerven- Befunden.....	44
4.2.9	Häufigkeit der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation.....	47
4.2.10	Vorkommen von Bewegungsmuster-Kombinationen während der Heißwasser- Reizapplikation	49
4.2.11	Zusammenhang zwischen Bewegungsmuster-Kombinationen und den Gehirnnerven-Befunden	53
4.2.12	Schweine mit steif veränderter Körperhaltung am Ende der Nachentblutestrecke ..	54
4.2.13	Abschließende Bewertung des Reizes „Heißwasser“	55
4.3	Spontanbewegungen auf der Nachentblutestrecke.....	57
4.3.1	Vorkommen von Spontanbewegungen	57
4.3.2	Vorkommen von Spontanbewegungen im Zusammenhang mit den Reiz- und Gehirnnerven-Befunden	58
4.3.3	Neugestaltung des Auswerteschemas der Spontanbewegungsmuster.....	59
4.3.4	Spontanbewegungsmustern von Schweinen mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und positivem Gehirnnerven-Befund.....	60
4.3.5	Spontanbewegungsmuster-Kombinationen von Schweinen mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und positivem Gehirnnerven-Befund.....	61
4.3.6	Spontanbewegungen von Schweinen ohne Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und mit negativem Gehirnnerven-Befund	62
4.3.7	Spontane Maulöffnungs-Bewegungen zwischen Entblutestich und Reizapplikation	63

4.4	Bewegungen beim Anschlingen in Abhängigkeit vom Reizergebnis	68
4.5	Elektrische Nachbetäubung in Abhängigkeit vom Reizergebnis.....	68
4.6	Schlussfolgerungen und Lösungsvorschläge für die Praxis	69
5	Diskussion.....	71
5.1	Vorversuch: Reizung mittels Heißwasser, Kaltwasser und Strom	71
5.2	Hauptversuch: Reizapplikation mittels Heißwasser.....	73
5.2.1	Vorkommen von Bewegung während der Heißwasser-Reizapplikation	74
5.2.2	Befunde der Gehirnnerven-Untersuchung	75
5.2.3	Gehirnnerven-Befunde der Schweine in Korrelation mit Reaktionen auf den Heißwasser-Reiz	77
5.2.4	Erkennbarkeit der Bewegungen während der Heißwasser-Reizapplikation	78
5.2.5	Neugestaltung des Auswerteschemas der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation	78
5.2.6	Vorkommen von Bewegungsmustern während der Heißwasser-Reizapplikation....	79
5.2.7	Erkennbarkeit der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation....	80
5.2.8	Zusammenhang zwischen den Bewegungsmustern und den Gehirnnerven- Befunden.....	80
5.2.9	Häufigkeit der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation.....	81
5.2.10	Vorkommen von Bewegungsmuster-Kombinationen während der Heißwasser- Reizapplikation	82
5.2.11	Zusammenhang zwischen den Bewegungsmuster-Kombinationen und den Gehirnnerven-Befunden	82
5.2.12	Schweine mit steif veränderter Körperhaltung am Ende der Nachentblutestrecke ..	84
5.2.13	Abschließende Bewertung des Reizes „Heißwasser“	85
5.3	Spontanbewegungen auf der Nachentblutestrecke.....	86
5.3.1	Vorkommen von Spontanbewegungen	86
5.3.2	Vorkommen von Spontanbewegungen im Zusammenhang mit den Reiz- und Gehirnnerven-Befunden	87
5.3.3	Neugestaltung des Auswerteschemas der Spontanbewegungsmuster.....	88
5.3.4	Spontanbewegungsmuster von Schweinen mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und positivem Gehirnnerven-Befund.....	88
5.3.5	Spontanbewegungsmuster-Kombinationen von Schweinen mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und positivem Gehirnnerven-Befund.....	88

5.3.6	Spontanbewegungen von Schweinen ohne Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und mit negativem Gehirnnerven-Befund	89
5.3.7	Spontane Maulöffnungs-Bewegungen zwischen Entblutestich und Reizapplikation	90
5.4	Bewegungen beim Anschlingen in Abhängigkeit vom Reizergebnis	91
5.5	Elektrische Nachbetäubung in Abhängigkeit vom Reizergebnis.....	91
5.6	Schlussfolgerungen und Lösungsvorschläge für die Praxis	92
6	Ausblick	94
7	Zusammenfassung.....	96
8	Summary.....	98
9	Literaturverzeichnis	100
10	Anhang	112

Abkürzungsverzeichnis

!	Fakultät (mathematisch)
\tilde{x}	Median
\bar{x}	Mittelwert
°C	Grad Celsius
A	Ampere
Abb.	Abbildung/en
ANON.	anonymer Autor
AT	Augentest
Auf	„Aufrichteversuche“
BANSS	BANSS Schlacht- und Fördertechnik GmbH
BBH	„Bewegung Becken/Hintergliedmaße“
Beob.ende	Beobachtungsende
BK	„Beugen Karpalgelenk“
bsi Schwarzenbek	Beratungs- und Schulungsinstitut für Tierschutz bei Transport und Schlachtung
BV	„Bewegungen Vordergliedmaße“
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
const.	Konstantstrom
d	Tag
dors.	Dorsal (lateinisch)
EEG	Elektroenzephalographie
EFSA	European Food Safety Authority
EG	Europäische Gemeinschaft
Form. reticularis	formatio reticularis (lateinisch)
-gldm.	-gliedmaße
HW	Heißwasser-Reiz
Hz	Hertz
HZ	„Hochziehen Kopf/Nacken“
IQR	Interquartilsabstand
KS	„Kopf schütteln“
KSV	„Kurzes Strecken Vordergliedmaße“
KW	Kaltwasser-Reiz

m	Meter
m.	musculus (lateinisch)
mm.	musculi (lateinisch)
max.	maximal/e
min.	minimal/e
min	Minute
MÖ	„Maul öffnen“
MÖ-Bewegung	Maulöffnungs-Bewegung
MRI	Max Rubner-Institut, Standort Kulmbach
n	Größe der Grundgesamtheit
n.	nervus (lateinisch)
Nr.	Nummer
NST	Nasenscheidewandtest
Nucl. principalis	nucleus principalis nervi trigemini (lateinisch)
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PAG	periaquäduktale Grau
Q _{.25}	unteres Quartil
Q _{.75}	oberes Quartil
RV	„Reaktionen Vordergliedmaße“
s	Sekunde
sd	Standardabweichung
se	Standardfehler
SH	Schlachthof
ST	Strom-Reiz
SV	„Strampelnde Vordergliedmaße“
T	Zeit
Tab.	Tabelle/n
TDS	„Tonisch dorsales Strecken“
TGV	„Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“
ton.	tonisch
US-Tag	Untersuchungs-Tag/e
V	„Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“
VO	Verordnung
Vol.	Volumen
VP-Kern	nucleus ventralis posterior Region
z. B.	zum Beispiel

1 Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland wurden im Jahr 2014 laut statistischem Bundesamt 58,7 Millionen Schweine geschlachtet. Während des Schlachtvorganges werden die Tiere zunächst entweder mittels eines Elektro- oder Kohlenstoffdioxid-(CO₂-)Betäubungsverfahrens in den Zustand der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit gebracht. Anschließend erfolgt der Entblutestich, der den Tod der Schlachttiere innerhalb der Zeit der Betäubungswirkung hervorrufen soll (ANON. 2012c).

Die zwei genannten Betäubungsverfahren werden prinzipiell als reversibel beschrieben, außer wenn bei der Elektrobetäubung zusätzlich zur Kopf-Durchströmung ein Herzkammerflimmern wirkungsvoll ausgelöst wird oder die Exposition in \geq Vol. 80 % CO₂ mindestens zehn Minuten beträgt (ANON. 2012c). Des Weiteren variiert die Zeitspanne der Betäubung zwischen den Betäubungsverfahren. Nach der Elektrobetäubung mit reiner Kopf-Durchströmung wird die durchschnittliche Dauer der Betäubungswirkung auf 20 bis 30 Sekunden und nach der CO₂-Betäubung auf ein bis drei Minuten geschätzt (ANIL 1991, VELARDE et al. 2000, NOWAK et al. 2007 und ANON. 2014c). Insbesondere nach der Elektrobetäubung steht den Tieren demnach ein relativ kurzes Zeitfenster zur Verfügung, in dem sie durch den Blutentzug wahrnehmungs- und empfindungslos versterben können. Jedoch nimmt nicht nur die Betäubungsart und -dauer einen wichtigen Einfluss auf den zügigen Todeseintritt der Tiere, eine „erfolgreiche“ Entblutung ist ebenfalls wesentlicher Bestandteil um den unausweichlichen Tod hervorzurufen (SCHÜTTE und BOSTELMANN 2001). Über letztgenannten Punkt kann ein sicheres Urteil jedoch erst einige Minuten nach dem Entblutestich erfolgen (TROEGER 2011).

Nach älteren Studien von ANIL et al. (2000), SCHÜTTE und BOSTELMANN (2001), TROEGER et al. (2005) und TROEGER und MEILER (2006) erlangten auf der Nachentblutestrecke trotz moderner Schlachttechnologien durchschnittlich ein % der Schlachtschweine ihre Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit zurück. Selbst modernste Schlachtbetriebe tragen auch heute noch ein Risiko lebende Tiere weiterzuverarbeiten (ANON. 2015). Dieser Zustand ist prinzipiell vermeidbar, kann aus Sicht des Tierschutzes nicht hingenommen werden und sollte zu „100 % unter Kontrolle“ gebracht werden, appelliert TROEGER (2010a).

In Zeiten der Informationsverbreitung durch die Massenmedien ist das Interesse der Bevölkerung an Themen des Tierschutzes stetig gewachsen. Über die tierschutzrelevanten Zustände in deutschen Schlachthöfen wurden in den vergangenen Jahren neben den genannten wissenschaftlichen Untersuchungen auch teils stark emotionsgesteuerte Berichte veröffentlicht (ANON. 2010, 2012b, 2013b). In einer Anfrage einiger Abgeordneten und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN wurde dem Bundestagspräsidenten 2012 folgende Frage gestellt: „Welches sind aus Sicht der Bundesregierung die bedeutsamsten Defizite beim Tierschutz in deutschen Schlachthöfen?“ Hierauf antwortete das damalige Landwirtschaftsministerium im Auftrag des Präsidenten: „Studien belegen (...), dass Schlachttiere vor weiteren Schlachtarbeiten das Wahrnehmungs- und Empfindungsvermögen wiedererlangen und z. B. reagierende oder wache Schlachtschweine in die Brühanlage gelangen. Solche Zwischenfälle sind aus Sicht der Bundesregierung so schwerwiegend, dass alle Anstrengungen unternommen werden müssen, um solche Vorkommnisse sicher auszuschließen. Entscheidend sind dabei (...) das Feststellen

des Fehlens von Lebenszeichen bei jedem einzelnen Tier vor Beginn der weiteren Schlachtarbeiten. Die Bundesregierung fördert verschiedene Forschungsvorhaben zur Weiterentwicklung einer tierschutzgerechten Tötung von Schlachttieren (...)“ (ANON. 2012a).

Von Juli 2012 bis Dezember 2014 finanzierte das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft über das Programm zur Innovationsförderung der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung das Forschungsprojekt „Erforschung der Möglichkeiten zum Einsatz eines automatisierten Verfahrens zur Feststellung des sicheren Todeseintritts bei der Schlachtung von Schweinen in industriellen Betrieben“ (http://www.mri.bund.de/de/max-rubner-institut/forschung/forschungsprojekte.html?detail_id=266075). Im Rahmen dieses Verbundprojektes arbeiteten das Beratungs- und Schulungsinstitut für Tierschutz bei Transport und Schlachtung aus Schwarzenbek (bsi Schwarzenbek, <http://www.bsi-schwarzenbek.de>), die Firma BANSS Schlacht- und Fördertechnik GmbH aus Biedenkopf (BANSS, <http://www.banss.de>) und das Max Rubner-Institut am Standort Kulmbach (MRI, <http://www.mri.bund.de>) in enger Kooperation zusammen. Im Rahmen der Untersuchungen wurden hierbei acht verschiedene industrielle Schlachtbetriebe in ganz Deutschland aufgesucht. Einige der Schlachthöfe arbeiteten mit CO₂-, andere mit elektrischen Betäubungsverfahren. Es wurden Betriebe mit Hohlmessersystemen und solche mit offener Stechmessertechnik ausgewählt. Die gewonnenen Daten wurden für die CO₂-Betäubung im bsi Schwarzenbek und für die Elektro-Betäubung im MRI weiter verarbeitet und ausgewertet.

Als erstes Ziel des Forschungsvorhabens sollte ein adäquater Reiz zur Prüfung der Reaktions- und Bewegungsfähigkeit der Schweine kurz vor Eintritt in die Brühung oder, soweit vorhanden, in die Vorreinigung identifiziert werden. Die Autorin konnte neben der Identifikation des Reizes außerdem zusätzliche Erkenntnisse, unter anderem die tierschutzrelevante Bewertung spontaner Bewegungen der Schlachtschweine auf der Nachentblutestrecke, gewinnen. In der vorliegenden Arbeit werden die hierzu durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse dargestellt und abschließend diskutiert. Ein Ausblick erläutert den anschließenden Verlauf des Forschungsvorhabens bis in das Frühjahr 2015.

2 Literaturübersicht

2.1 Rechtlicher Hintergrund zum Todeseintritt von Schlachtschweinen

Das Tierschutzgesetz beinhaltet wesentliche Grundsätze zum Schutz von Tieren und somit auch von Nutztieren während der Schlachtung (ANON. 1972). In § 4 des Gesetzes wird hierbei auf das Töten von Tieren eingegangen. Tiere dürfen demnach „nur unter Vermeidung von Schmerzen getötet werden“. 2009 hat die Europäische Gemeinschaft die Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung verabschiedet. Diese ist seit dem ersten Januar 2013 anzuwenden. Hier heißt es in Artikel 4 und 5, dass die Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit der Schlachttiere vom Betäubungsende bis zum Tod anhalten muss (ANON. 2009). Des Weiteren steht in Anhang 3 geschrieben, dass vor weiteren Schlachtarbeiten die Feststellung fehlender Lebenszeichen bei jedem Tier sichergestellt sein muss. Zur nationalen Umsetzung dieser Verordnung wurde im Dezember 2012 die deutsche Tierschutz-Schlachtverordnung, das heißt die Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung erlassen (ANON. 2012d). Diese enthält zusätzlich zu den europäischen Forderungen in § 12 folgenden Passus: „Ein weiteres Zurichten oder Brühen eines Tieres (...) darf erst erfolgen, wenn keine Bewegungen des betäubten Tieres mehr wahrzunehmen sind“. Das Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg hat daraufhin im Januar 2014 das „Handbuch Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung“ erstellt (ANON. 2014d). Es enthält unter anderem Auslegungshinweise, die vor allen den Behörden dienlich sein sollen um einen einheitlichen Vollzug sicherzustellen. Zwei Jahre zuvor veröffentlichte der deutsche Bundesrat bereits einen Beschluss bezüglich der nationalen Umsetzung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 durch die Tierschutz-Schlachtverordnung. Hierbei bittet der Bundesrat die Bundesregierung „die Entwicklung verlässlicher automatisierter Verfahren zur Überprüfung des Erfolgs von Betäubung und Entblutung voranzutreiben“ (ANON. 2012c). Aus diesem Beschluss wird die Dringlichkeit zur Entwicklung zuverlässiger automatisierter Verfahren zur Todeskontrolle deutlich.

2.2 Philosophische Betrachtungen zum Töten von Tieren

Seit über 2000 Jahren beschäftigen sich philosophische Denker mit dem Werden und Vergehen von Lebewesen. Der Tod stellt dabei die entscheidende Zäsur im Leben eines jeden Organismus dar. Speziell die Frage zur ethischen Vertretbarkeit des Tötens von Tieren durch den Menschen zu dessen Nutzen wird immer wieder kontrovers diskutiert. Besonders dann, wenn mit dem Töten bzw. Schlachten von Tieren eine Leidenszufügung verbunden ist, flammt die Diskussion auf. Immanuel Kant grenzt den Menschen in seinen Schriften deutlich vom Tier ab, da er nur ihm das Vermögen der Vernunft zuerkennt (KANT 1785). „Für Kant besteht [daher] keine direkte ethische Verpflichtung gegenüber Tieren“ (VON DER PFORDTEN 2006). Dagegen appelliert Arthur Schopenhauer, dass Tiere als Mitgeschöpfe des Menschen eine moralische Gerechtigkeit verdient haben (SCHOPENHAUER 1841). Zur modernen Tierethik haben sich unter anderem Tom Regan und Peter Singer geäußert. Regan spricht dem Tier prinzipiell die Fähigkeit des Bewusstseins zu und kritisiert die utilitaristische Handlungsmoral des Menschen in Bezug auf das Töten, insbesondere

auch auf das Schlachten von Tieren (REGAN 1987). Einerseits spricht Regan davon, dass der Tod eines Tieres nicht dessen „worst harm“ darstellen muss, jedoch bedeutet er, wenn er einmal eingetreten ist, des Tieres „ultimate harm“. Er lehnt somit die Tötung von landwirtschaftlichen Nutztieren zur Fleischgewinnung ab, sei sie als human bezeichnet oder nicht. Singer dagegen spricht von einem Präferenzutilitarismus, der in entsprechenden Fällen das Handeln der Menschen gegenüber dem Tier, und demnach auch das Töten derer, rechtfertigen kann (SINGER et al. 1994 und SINGER 2009). Jedoch spricht er dem menschlichen Wesen hierbei keinerlei Sonderstellung zu. Helmut Friedrich Kaplan geht noch einen Schritt weiter und verurteilt, in einfacher Weise, aber doch sehr radikal die Verwendung von Tierprodukten allgemein (KAPLAN 1988). BIRNBACHER (2008) dagegen sagt, dass eine „moralische Unzulässigkeit der Tötung von Tieren“ nicht generell argumentiert werden kann. Lebewesen, bei denen die Fähigkeit der Furcht vor dem Tod nicht auszuschließen ist, grenzt er jedoch aus dieser Aussage aus. Schlussendlich kann gesagt werden, dass eine einheitliche ethische Rechtfertigung zum Schlachten von Tieren bis heute nicht zu finden ist. Nichtsdestotrotz herrscht die allgemein Ansicht, dass das Töten von Tieren durch den Menschen zumindest unter Ausschluss von jeglichem Leid legitimierbar erscheint (ANON. 1972).

2.3 Human- und Veterinärmedizinische Definitionen des Todeseintritts

Allgemein betrachtet wird bei den verschiedenen Definitionen, die zum Begriff „Todeseintritt“ zu finden sind unterschieden, ob jeweils vom klinischen oder biologischen Tod eines Lebewesens die Rede ist. Der „klinische Tod“ wird als Beginn des Sterbeprozesses bezeichnet, bei dem die Herz- und Atemaktivitäten eingestellt werden und es Schritt für Schritt zum Erliegen der Organfunktionen kommt (WIESNER und RIBBECK 2000). Der „biologische Tod“ dagegen ist der Endpunkt des Sterbeprozesses der mit dem Erlöschen der Gehirnfunktionen endet. Er ist irreversibel.

In der **Humanmedizin** wird seit vielen Jahren darüber diskutiert, wie der Tod im Allgemeinen zu definieren ist. Seit einiger Zeit findet sich nun eine relativ einheitliche Begriffsbestimmung. Der Tod wird gemeinhin definiert als ein irreversibler Verlust des Bewusstseins in Verbindung mit dem irreversiblen Verlust der Atmung (DINSMORE und GARNER 2009 und GARDINER et al. 2011). Die genannten Autoren resümierten hieraus, dass jene Situation nur dann eintreten kann, wenn die für Atmung und das Bewusstsein zuständigen Bereiche des Gehirns funktionslos sind. Im engeren Sinne wird somit primär vom „Hirnstammtod“ gesprochen (PALLIS 1982a). Andere Schriften verweisen darauf, dass neben der Atmung und dem zentralen Nervensystem auch der Kreislauf, das heißt die Herzaktivität, funktionslos sein muss, um den Tod aussprechen zu dürfen (MADEA 2003). In Deutschland beschränkt sich das Transplantationsgesetz nicht nur auf den Hirnstamm, sondern fordert, dass der Tod beim Menschen erst dann ausgesprochen werden darf, wenn der endgültige und nicht behebbare Ausfall der Gesamtfunktion des Großhirns, des Kleinhirns und des Hirnstamms nachweisbar sind (ANON. 1997).

In der **Tiermedizin** ist die Definition des Todes vor allem durch die Aussage der European Food Safety Authority (EFSA) geprägt. Hier heißt es, dass der Tod eines Tieres dann eingetreten ist, wenn dessen Kreislauf, das heißt dessen Herzfunktion, und dessen Atmung seine bzw. ihre Aktivität irreversibel aufgegeben haben (EFSA 2004). Aufgrund der damit verbundenen anhaltenden Sauerstoffunterversorgung des Gehirns sind der konstante Bewusstseinsverlust und damit der biologische Tod unausweichlich. In Untersuchungen an Schafen und Kälbern definierten

NEWHOOK und BLACKMORE (1982) den Ausdruck „technically dead“. Sie schreiben, dass eine anhaltende Empfindungslosigkeit nach Entblutung zur zerebralen Anoxie führt, die schlussendlich den Tod des Tieres irreversibel hervorruft.

2.4 Kontrolle des Todeseintritts beim Menschen

Um den Tod eines Menschen aussprechen zu dürfen, müssen wesentliche Kriterien erfüllt sein, die von Land zu Land teilweise unterschiedlich definiert werden (GARDINER et al. 2011). Das deutsche Transplantationsgesetz verweist auf Richtlinien, festgelegt von der Bundesärztekammer, die dem Stand der Erkenntnisse der medizinischen Wissenschaft folgen (ANON. 1997, 2007). Die Vorgehensweise um die Diagnose „Todeseintritt“ bei einem Menschen aussprechen zu dürfen sind im Folgenden dargestellt (PALLIS 1982b, c, WIJDICKS 2001, BIRBAUER und SCHMIDT 2006, ANON. 2007a und DINSMORE und GARNER 2009):

Zuerst müssen entsprechende **Voraussetzungen** erfüllt sein:

- Klinische Ursache für einen primär oder sekundär irreversiblen Gehirnschaden bekannt
- Patient in einem tiefen komatösen Zustand ohne spontaner Atmung

Im Anschluss folgt der **Ausschluss** von möglicherweise reversiblen Gründen, die das vorhandene Koma des Patienten verursacht haben könnten:

- Hypothermie, Medikamentenintoxikationen und metabolische bzw. endokrine Dysfunktionen

Nach einer gewissen Beobachtungszeit folgen **spezielle Tests**, die von mindestens zwei erfahrenen Medizinern durchgeführt werden:

- Gehirnnerven-Reflex-Tests, unter anderem der Corneal-Reflex
- Schmerzreizprovokation mit Beachtung von Gesichtsmuskelkontraktionen
- Apnoe-Test zum Nachweis des zentralen Atemstillstandes

Neben diesen klinischen Untersuchungsmethoden werden häufig noch **weitere diagnostische Verfahren** zur sicheren Diagnose eingesetzt:

- Die Elektroenzephalografie: Messungen elektrische Spannungsschwankungen an der Kopfoberfläche, auch EEG-Messungen genannt
- Somatisch oder visuell evozierte Potentiale: durch Reizung peripherer Nerven oder eines Sinnesorgans hervorgerufene elektrische Potentialunterschiede, die mittels Elektroenzephalografie gemessen werden können
- Messung des zerebralen Zirkulationsvermögens: z. B. Katheter-Angiographie, Radionuklid-angiographie, Computertomographie- bzw. Magnet-Resonanz-Messungen, transkranielle Doppler-Messungen

2.5 Kontrolle des Todeseintritts bei Schlachtschweinen

2.5.1 Anatomische, physiologische und neuronale Grundlagen

Eine gesicherte Blutversorgung aller lebenswichtigen Organe, insbesondere des Gehirns, stellt die Grundvoraussetzung für die Lebensfähigkeit eines Lebewesens dar (SILBERNAGL 2012). Das Blut liefert dem Nervengewebe hierbei unter anderem den für die Energiegewinnung notwendigen Sauerstoff und die Glucose (LÖFFLER 2001). Durch den Entbluteschnitt bei der Schlachtung von Schweinen werden Gefäße in der Nähe des Herzens bzw. im Halsbereich eröffnet (ANIL et al. 2000 und SCHWEIGER et al. 2012). BLACKMORE und NEWHOOK (1981) beschreiben hierzu die zu berücksichtigen abweichenden anatomischen Verhältnisse der Blutgefäße des Schweines im Vergleich zu anderen Nutztieren: Neben der Anastomose zwischen der arteria carotis und der arteria vertebralis, welche auch beim Rind und Schaf vorkommt, sind beim Schwein zudem verbindende Gefäße zwischen der arteria vertebralis und der arteria basilaris vorhanden. Diese können für eine weiterhin bestehende Blutversorgung des Gehirns, im Falle der Zerstörung erstgenannter Gefäßverbindung durch den Entbluteschnitt, sorgen.

Die Begriffe Hirnstamm und Stammhirn werden in der Literatur nicht einheitlich verwendet (STOFFEL 2010). Zum Hirnstamm zählen zumeist alle Gehirnabschnitte außer dem Großhirnmantel und dem Kleinhirn (NICKEL et al. 2004). Sie beinhalten demnach neben dem Mittelhirn, der Brücke und dem verlängerten Rückenmark auch das Zwischenhirn. Die Bezeichnung Stammhirn dagegen beinhaltet zumeist nur die Gehirnabschnitte die caudal des Zwischenhirns liegen (STOFFEL 2010). Damit der Tod eines Lebewesens unumgänglich ist, muss der Hirnstamm, demnach auch das Zwischenhirn, seine Funktionen irreversibel verloren haben (PALLIS 1982a).

Werden bei der Kontrolle des eingetretenen Todes eines Schlachtschweines die folgenden Punkte berücksichtigt bzw. untersucht, können Rückschlüsse auf die Funktionalität des Hirnstammes gezogen werden:

- **Atemzentrum:** Für die notwendigen Atemtätigkeiten ist das im Nachhirn, bestehend aus der Brücke und dem verlängerten Rückenmark, gelegene Atemzentrum zuständig (SILBERNAGL 2012). Durch Überwachung der Atmungsbewegungen des Tieres kann die Funktionalität dessen Atemzentrums bewertet werden (EFSA 2004).
- **Kreislaufzentrum:** Das Kreislaufzentrum, das ebenfalls im Nachhirn lokalisiert ist, steuert zentral die Herzfunktion und den Blutdruck des Tieres (SILBERNAGL 2012). Durch Überprüfung der hiermit verbundenen Parameter, können Rückschlüsse auf die Funktionalität dieses Zentrums gezogen werden.
- **Retikuläre Formation:** RAJ et al. (1997) hat in seinen Versuchen mit somatisch evozierten Potentialen herausgefunden, dass ein vorhandenes Bewusstsein unter anderem auf die Funktionalität der retikulären Formation im Hirnstamm hindeutet. Es handelt sich hierbei um ein neuronales Netzwerk, das sich zwischen verlängertem Mark und Zwischenhirn ausbreitet. Die retikuläre Formation ist unter anderem für den Wachheitsgrad des Tieres zuständig, beschreibt genannter Autor.

- **Vestibulärkerne und Lokomotionszentrum:** Die Vestibulärkerne im Labyrinth der Felsenbeine und zusätzlich das sogenannte Hirnstamm-Lokomotionszentrum der bereits genannten retikulären Formation sind unter anderem zuständig für die Körperhaltung und den Muskeltonus von Tieren (VANDEVELDE et al. 2001). Je nachdem welche Bewegungen die zu untersuchenden Schweine zeigen, können Rückschlüsse auf jene Gehirnbereiche gezogen werden.
- **Thalamus:** Das Zwischenhirn stellt mit seinen zentralen Funktionen im Bereich der Sinneswahrnehmung und Oberflächensensibilität eine wichtige Umschalt- und Kontrollstelle für neuronale Projektionen in das Großhirn dar (HANDWERKER 2006). Zum Zwischenhirn werden gemeinhin der Thalamus und der Hypothalamus gezählt. Der Hypothalamus kontrolliert und reguliert vegetative Funktionen des Lebewesens, wie z. B. die Wärmeproduktion und die Tätigkeiten einiger endokriner Drüsen. Durch den Thalamus werden dagegen nahezu alle afferenten Erregungen weitergeleitet, bevor sie die Großhirnrinde erreichen (NICKEL et al. 2004). Er spielt demnach eine entscheidende Rolle bei der Wahrnehmung von Schmerz- und Temperaturinformationen (BEAR et al. 2008). Werden Schmerz- oder Temperaturreize gesetzt, können demnach Rückschlüsse auf die Funktionalität des Thalamus gezogen werden.

2.5.2 Allgemeine Pathophysiologie des Hirntodes

Durch den akuten Blutentzug nach Entblutestich wird der Tod des zu schlachtenden Tieres hervorgerufen (ANON. 2009). Es kommt zu einem steilen Abfall des Blutdrucks, verbunden mit der Verminderung der Sauerstoffversorgung des Gehirns (BLACKMORE und NEWHOOK 1981, WOTTON und GREGORY 1986, WOTTON 1996 und ANIL et al. 2000). Dies führt laut genannter Autoren im Schnitt innerhalb einer halben Minute zur Bewusstlosigkeit auch nicht betäubter Schlachttiere.

Bei der Betrachtung humanmedizinischer Literatur über die Hirnschädigung nach Herz-Kreislauf-Versagen beim Menschen können Schlussfolgerungen auf den Pathomechanismus des Hirntodes bei Schlachtschweinen gezogen werden: Da das Gehirn nur über minimale Energiereserven verfügt, tritt nach kurzer Zeit der Sauerstoffunterversorgung die „globale zerebrale Ischämie“ ein (HAUPT et al. 2000 und KOLLMANN-FAKLER 2011). Hierbei ist der Cortex mit Beteiligung der Thalamus-Region besonders empfindlich. Andere Gehirnregionen scheinen weniger vulnerabel zu sein, unter anderem das Kleinhirn (PÜTTGEN und GEOCADIN 2007). Dieses spielt insbesondere für die Lokomotion, dem Zusammenspiel der Muskulatur, eine bedeutende Rolle (BEAR et al. 2008). Wird die Sauerstoffversorgung des Gehirns unterbrochen, kommt es zum anaeroben Glucoseabbau, der aufgrund des hierbei entstehenden Laktats zur intrazellulären Azidose führt (CHALKIAS und XANTHOS 2012). Des Weiteren verändert sich nach einigen Minuten auch die Osmolalität der Zellwände, was ein zytotoxisches Gehirnödem hervorruft. Aufgrund der hiermit verbundenen gestörten Homöostase der Ionen kann die Blut-Hirn-Schranke nicht aufrecht gehalten werden und Serumproteine erreichen das Interstitium des Gehirns. Dieser pathologische Zustand wird als vasogenes Hirnödem bezeichnet (CHALKIAS und XANTHOS 2012). Er führt zum intrakraniellen Druckanstieg mit mehr oder weniger bedeutsamer Kompression der Gehirnregionen. Aufgrund des eingeschränkten Energiestoffwechsels kommt es weiterhin zu

komplexen Abläufen in Verbindung mit der Freisetzung von Enzymen, z. B. Proteasen, die den kontrollierten Zelltod, die Apoptose einleiten (KOLLMANN-FAKLER 2011). Laufen all diese pathophysiologischen Abläufe in ähnlicher Weise auch beim Schlachtschwein ab, ist dessen Tod nach „umfassender Entblutung“ sichergestellt (TROEGER et al. 2005).

2.5.3 Neuronale Verschaltung und muskuläre Antwort auf Schmerzreize

Schmerz wird von der International Association for the Study of Pain als „ein unangenehmes heftiges Sinnes- und Gefühlserlebnis, das mit tatsächlichen oder möglichen Gewebeschäden verbunden ist oder in solchen Kategorien beschrieben wird“ definiert (ANON. 2014a).

Um Reize an das Gehirn weiterzuleiten bedarf es entsprechender **aufsteigender Nervenbahnen**. Es gibt hierbei viele neuronale Verschaltungen, die für die Wahrnehmung von Schmerzen und die Regelung der Wachheit zuständig sind (BEAR et al. 2008). Zwei neuronale Hauptleitungsbahnen, die der Weiterleitung von Temperatur- und Schmerzreiz-Informationen zum Thalamus dienen, spielen hierbei entscheidende Rollen:

- Die ipsilaterale trigeminothalamische Bahn mit den zwei Nervi trigemini durchdringt die Gehirnoberfläche caudolateral der Brücke, beschreiben NICKEL et al. 2004. Die Axone ziehen dann über den Trigeminihauptkern „im trigeminalen Lemnicus zum Thalamus hinauf“ (BEAR et al. 2008). Jene afferenten sensorischen Verbindungen im Kopfbereich erfolgen vor allem durch drei sensible Nerven (NICKEL et al. 2004): nervus ophthalmicus, nervus maxillaris und nervus mandibularis, die sich im Trigeminus-Kern zum mächtigen nervus trigeminus, dem fünften Gehirnnerv, vereinen. Zusätzlich werden Empfindungen im Hautbereich der Ohren und in der Nasen- und Rachenregion über den nervus intermedius, dem sensorischen Anteil des nervus facialis, den nervus glossopharyngeus und den nervus vagus vermittelt (NICKEL et al. 2004).
- Die spinothalamischen Bahnen verlaufen dagegen anders. Kommt es zur Reizung peripherer Temperatur- bzw. Schmerzrezeptoren, z. B. im Bereich der Vordergliedmaße, werden diese Informationen primär über das Rückenmark in den Thalamus weitergeleitet (ALBE-FESSAR et al. 1985).

Über den Nucleus principales nervi trigemini, der Hirnnervenkern des nervus trigeminus, gelangen alle afferenten Nervenbahnen zum **Thalamus** (BEAR et al. 2008 und STOFFEL 2010). Hier gilt vor allem die sogenannte Nucleus ventralis posterior Region, auch VP-Kern genannt, als zentrale Umschaltstelle der sensorischen Informationen. Im weiteren Verlauf der genannten Bahnen werden die Reize in verschiedene Bereiche der **Großhirnrinde** und subkortikal in das **limbische System** projiziert. In gegebenem Fall kommt es zur bewussten bis emotionalen Verarbeitung des Reizes mit einer entsprechenden motorischen Antwort (BROMM und CHEN 1995).

Die **muskuläre Antwort** auf einen schmerzhaften Reiz soll dem Tier primär das Ausweichen vor jenem Stimulus ermöglichen. Die efferente Verschaltung im Kopfbereich wird hierfür vor allem durch den motorischen Anteil des nervus facialis vermittelt (NICKEL et al. 2004). Je komplexer die Reaktionsbewegungen sind, desto mehr Muskelgruppen sind beteiligt (NICKEL et al. 2003). Da Tiere einen erlebten Schmerz nicht wie Menschen sprachlich kommunizieren können, konzentriert

sich die Schmerzforschung bei Tieren vor allem auf die Beobachtung motorischer Bewegungsmuster (CHAPMAN et al. 1985). Hierbei wird stets zwischen unbewussten Reflexbewegungen, die primär über das Rückenmark verschaltet werden, und echten, möglicherweise bewusst wahrgenommenen Reaktionen unterschieden (BEAR et al. 2008). Beim sogenannten Tail-Flick-Test wird eine einfache Reflex-Antwort auf einen definierten Temperatur-Reiz an Versuchstieren untersucht (D'AMOUR und SMITH 1941). Bei der neurologischen Untersuchung von Hunden oder Katzen in der Kleintierpraxis wird mittels eines Zangenkniffs in die Zwischenzehenhaut der sogenannte Flexor-Reflex, ein unbewusster Schutzreflex überprüft (VANDEVELDE et al. 2001). Kommt es zu einem reflektorischen Zurückziehen des Beins, wird dieser Test als positiv bewertet. Der Flexor-Reflex lässt jedoch ausschließlich Rückschlüsse über die periphere Reizweiterleitung und die Funktionalität des Rückenmarks zu. Kommt es nach Zangenkniff in die Zwischenzehenhaut jedoch zu einer komplexen Abwehr- oder Verteidigungsreaktion des Tieres kann von einer vorhandenen Tiefensensibilität ausgegangen werden, beschreiben VANDEVELDE et al. 2001. Das Tier hat den Schmerz über die Projektion ins Großhirn bewusst wahrgenommen. In der Human- wie in der Tiermedizin existieren Bewegungsanalysen von Menschen bzw. Tieren, insbesondere von Pferden, die bewusste Reaktionen auf einen Schmerzreiz zeigen. Der Fokus der Beobachtungen liegt hierbei im Kopfbereich der Probanden. Als Beispiele sei auf das sogenannten „Emotional Facial Coding System“ oder im tiermedizinischen Bereich auf den sogenannten „Horse Grimace Scale“ verwiesen (FRIESEN und EKMAN 1983 und DALLA COSTA et al. 2014).

Bekanntermaßen variiert die **Schmerzempfindung** je nach Situation. Bei starken Emotionen oder Stress kann der Schmerz oder die Schmerzwahrnehmung laut Literatur unterdrückt werden. Hierzu ist unter anderem das sich im Mittelhirn befindliche periaquäduktale Grau zuständig (BEAR et al. 2008). Dieses kann Einfluss auf die in der Medulla oblongata positionierten Raphekerne nehmen, die dann den nozizeptiven Informationsfluss durch die Hinterhörner des Rückenmarks modulieren. Auch der sogenannte Locus caeruleus in der retikulären Formation des Hirnstamms kann eine schmerzreduzierende Wirkung vermitteln (HANDWERKER und SCHAIBLE 2006). Des Weiteren sei auf den schmerzlindernden Einfluss von endogenen Morphinen hingewiesen, die HUGHES (1975) im Zwischenhirn von Schweinen isolieren konnte. Die Wichtigkeit der endogenen Schmerzkontrolle sprechen auch BROMM und DESMEDT (1995) ausführlich an. BODNAR et al. (1979) haben in Untersuchungen an Ratten außerdem eine gewisse analgetische Wirkung nach den durch Reizung mittels Kaltwasser hervorgerufenen Stress nachweisen können.

In Abbildung (Abb.) 1 sind die genannten Abläufe der afferenten und efferenten Schmerz-Verschaltung und die absteigenden Bahnen zur zentralen Schmerzkontrolle anhand eines Schemas, auf die Tierart Schwein übertragen, dargestellt.

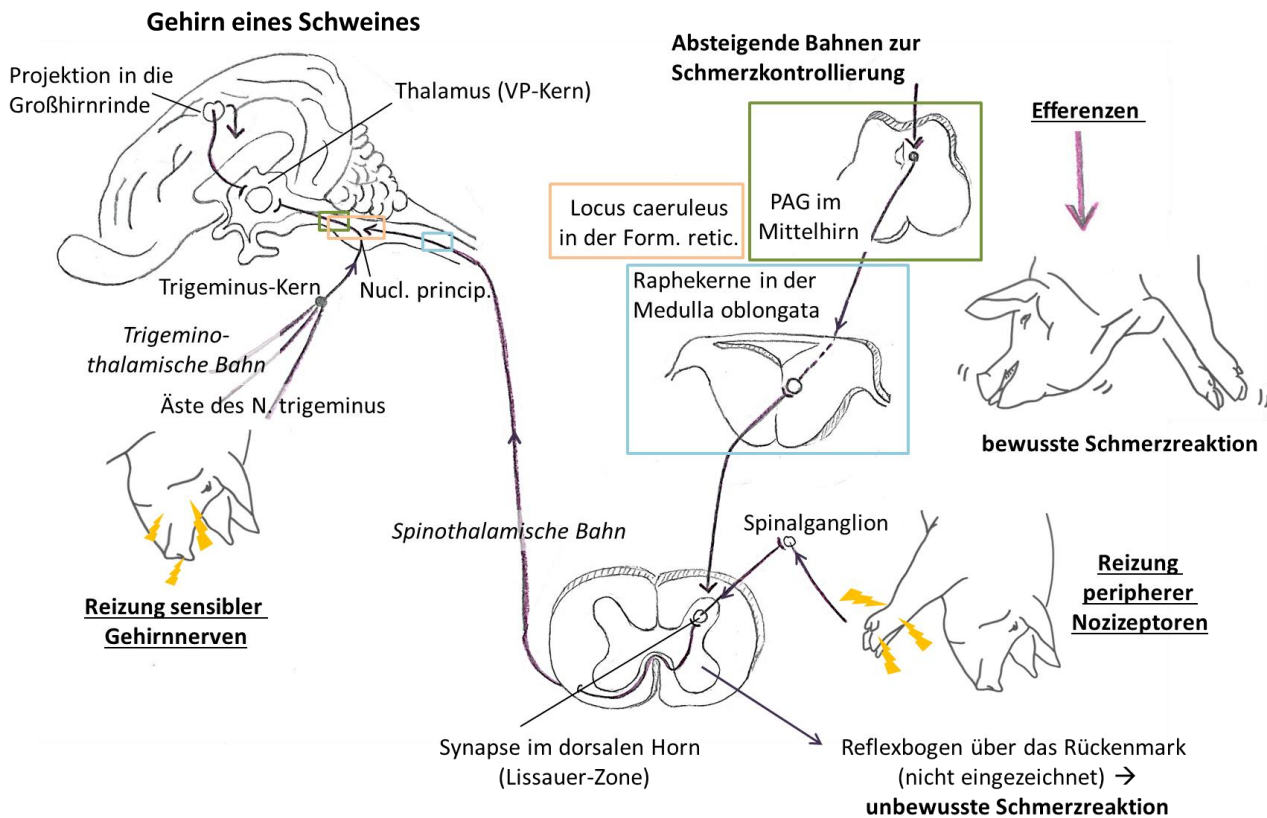


Abb. 1: Schematische Darstellung neuronaler aufsteigender und absteigender Schmerzbahnen und Schmerzkontrollschaltstellen am Beispiel Schwein

(PAG = periaquäduktale Grau; N. = Nervus; Nucl. princip. = nucleus principales nervi trigemini; Form. retic. = formation reticularis; VP-Kern = Nucleus ventralis posterior Region-Kern)

2.5.4 Einsatz verschiedener Schmerzreize

Schmerzen können durch entsprechende Reize provoziert werden:

- Berührungs- oder Hitze-Reize:** Wirkt ein Berührungs- oder Hitze-Reiz in adäquater Intensität auf die Haut eines Lebewesens ein, leiten sogenannte A δ -Fasern mit einer Geschwindigkeit von vier bis 30 m/s und C-Fasern mit 0,4 bis 1,8 m/s die Information an das zentrale Nervensystem weiter (BROMM und LORENZ 1998). Glutamat, Substanz P und weitere Neuropeptide dienen den schmerzleitenden Afferenzen als Neurotransmitter (BEAR et al. 2008). Der sogenannte Transient Receptor Potential, auch als Vanilloid Subtyp 1 Rezeptor bezeichnet, der in nozizeptiven Neuronen vorkommt, scheint bei schmerzhaften taktilen und Hitze-Reizen eine entscheidende Rolle zu spielen (CATERINA et al. 1997). SCHOLZ (1994) hat in seinen Untersuchungen herausgefunden, dass beim Menschen bei einer Temperatur von 50 °C innerhalb von 40 Sekunden ein deutlicher Schmerz empfunden wird. Bei Erhöhung der Temperatur im Test wurde die Schmerztoleranzschwelle bei den Probanden zunehmend schneller erreicht. Ähnliche Ergebnisse erbrachten auch die Untersuchungen von CASEY et al. (1996). Es konnte nachgewiesen werden, dass jeweils unterschiedliche Bereiche im Thalamus angesprochen werden, je nachdem ob ein nicht schmerzhafter kühler bzw. warmer Reiz oder ein schmerzhafter heißer bzw. kalter Reiz eingesetzt wird (DAVIS et al. 1998).

- **Kältereize:** Für die Wahrnehmung von Temperaturen unter 25 °C ist vor allem der sogenannte Transient Rezeptor Potential Kationen Kanal Unterfamilie M Mitglied 8 zuständig (BEHRENDT und HATT 2004). Kältereize werden wie Berührungs- und Hitze-Reize an das zentrale Nervensystem weitergeleitet (BEAR et al. 2008). In Untersuchungen am Menschen mit sechs °C kaltem Wasser konnte in ähnlichen Gehirnregionen wie nach schmerzhafter Reizung mit heißem Wasser neuronale Aktivität nachgewiesen werden (CASEY et al. 1996).
- **Elektrische Reize:** Im Vergleich zu Temperaturreizen, die primär einen Oberflächenschmerz auslösen, verursachen elektrische Reize einen Tiefenschmerz (SCHOLZ 1994). Durch den elektrischen Strom werden Aktionspotentiale an den Nervenfasern direkt ausgelöst und weitergeleitet (HANDWERKER 2006). TREEDE et al. (1988) fanden in Untersuchungen mit somatisch evozierten Potentialen beim Menschen heraus, dass die neuronale Reizweiterleitung nach elektrischer Stimulation von Nerven 100 Millisekunden schneller ist, als nach Hitze-Reiz induzierter Stimulation. Das EEG zeigte hierbei, dass beide Reize in ähnlichen Bereichen des Gehirns verarbeitet werden.
- **Chemische Reize:** Auch chemische Reize können zur Schmerzreizprovokation eingesetzt werden. Im gesamten Organismus finden sich chemisch sensitive Zellen, sogenannte Chemorezeptoren (BEAR et al. 2008). Insbesondere die Geruchs- und Geschmackssinne sind für die Wahrnehmung von potentiell schädigenden chemischen Noxen zuständig. Die Axone der Geruchsrezeptoren in der Nase ziehen über die Riechkolben direkt in das Gehirn. Geschmacksrezeptoren verbinden sich hingegen über Gehirnnerven mit dem zentralen Nervensystem, beschreiben BEAR et al. 2008. Untersuchungen von ANTON et al. (1991) an Menschen bzw. Ratten zeigten, dass sich CO₂-Impulse als chemische Schmerzreize eignen. KOBAL (1985) hatte CO₂ als Stimulus ebenfalls verwendet. Jener Autor beschreibt außerdem den Einsatz weiterer chemischer Substanzen wie Essigsäureester und von ätherischen Ölen wie Linalool und Eukalyptusöl. Er setzte sie mit Hilfe eines Trägergases zur Schmerzreiz-induktion ein.

2.5.5 Einfluss der Betäubungsverfahren auf die Todeskontrolle

Sowohl die elektrische wie die CO₂-Betäubung nehmen Einflüsse auf den Ablauf des Sterbeprozesses von Schlachtschweinen und demnach auch auf die Todeskontrolle von jenen Tieren.

Zunächst sei der Einfluss der **Elektro-Betäubung** auf die Todeskontrolle beschrieben:

- Die elektrische Betäubung ist keine echte Betäubung im klinischen Sinn, sondern löst einen Wechsel von Depolarisation und Hyperpolarisation in den Nervenzellmembranen aus (MÄNNL 1994 und TROEGER 2007). COOK et al. (1995) und GREGORY und GRANDIN (1998) beschreiben, dass die elektrische Kopf-Durchströmung mit den Vorgängen eines generalisierten epileptischen Anfalls beim Menschen vergleichbar ist. Die vermehrte Erregung der Neuronen wird hierbei durch gesteigerte exzitatorische Afferenzen und durch die Abnahme der synaptischen Hemmung bewirkt (BINGMANN 2004). Der Neurotransmitter Gamma Amino-Buttersäure spielt hierbei eine wichtige Rolle, da er ein Ungleichgewicht der Neuronen durch Hyperpolarisation verursacht. Bei einem epileptiformen Anfall kommt es zu tonisch-klonischen Krämpfen, gefolgt von einer Erholungsphase mit erhöhter Erregbarkeit in der Muskulatur, das

heißt einer sogenannten Hyperreflexie (ANON. 2012a). In dieser Zeit kann es zu unkoordinierten Bewegungen kommen, denen lediglich spinale Entladungen zugrunde liegen (GRANDIN 2013). Sie dürfen bei der Todeskontrolle nicht mit zielgerichteten Schmerz-Reaktionsbewegungen verwechselt werden.

- Die Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit, die durch die Elektro-Betäubung hervorgerufen werden soll, ist primär abhängig von der Stromstärke, die durch das Gehirn des Tieres fließt (ANIL et al. 1997). Die gewählten Stromparameter und das Zusammenspiel der Einstellungen bei der Kopf-Durchströmung und der anschließenden Kopf-zu-Herz-Durchströmung spielen eine wichtige Rolle bei der Betäubungsqualität und demnach auch bei der tierschutzkonformen Tötung der Schlachtweine (TROEGER 2007). TROEGER und WOLTERSDORF (1988b) fanden heraus, dass sich die tonische Starre der Schweine nach Hochvoltbetäubung mit 600 Volt während der Entblutung durch geringere Motorik in der Muskulatur löst, als mit niedrigeren Spannungen.
- Die Bewusstlosigkeit, hervorgerufen durch die alleinige Durchströmung des Kopfes bei der elektrischen Betäubung von Schweinen, hält lediglich bis zu 30 Sekunden an (ANON. 2014b). Sie ist als reversibel zu bezeichnen, solange kein Herzkammerflimmern ausgelöst wird (ANIL 1991, LAMBOOIJ et al. 1996, VOGEL et al. 2010 und ANON. 2012c). Nach Angaben der Autoren führt ein erfolgreich hervorgerufenes Herzkammerflimmern irreversibel zum Tod der betäubten Schweine.
- Die elektrische Betäubung kann den Todeseintritt nach Entblutestich aufgrund des durch sie verursachten extremen Metabolismus im Gehirn beschleunigen (BAGER et al. 1992).
- Die Form der verwendeten Elektroden und die Ansatzstellen am Körper des Tieres haben einen wesentlichen Einfluss auf die Betäubungswirkung bei der Elektro-Betäubung (SPARREY und WOTTON 1997 und VELARDE et al. 2000). Die Betäubung kann nur dann tierschutzkonform ablaufen, wenn das Gehirn des Tieres direkt im Stromfluss liegt (ANIL und MCKINSTRY 1998). Nach Angaben der genannten Autoren kommt es, werden die Elektroden an der falschen Stelle angesetzt, wie es bei einer Betäubung ohne Fixation vorkommen kann, lediglich zu einer Immobilisation der Muskulatur. Diese, wie auch das hiermit verbundene Ausbleiben von Vokalisation, darf nicht mit der Empfindungslosigkeit des Tieres gleichgesetzt werden, betonen TROEGER und WOLTERSDORF (1988a).
- Des Weiteren darf die regelmäßige und fachgerechte Wartung der Betäubungsanlagen und die Sicherstellung sauberer und gepflegter Elektroden nicht unterschätzt werden (TROEGER 2007).

Als ergänzender Vergleich sei der Einfluss der **CO₂-Betäubung** beschrieben:

- Bei der CO₂-Betäubung kommt es zu einem Anstieg des CO₂-Partialdrucks, wodurch die Rate an weitergeleiteten Aktionspotentialen in den neuronalen Axonen schlussendlich absinkt (CARPENTER et al. 1974). Somit wird eine echte Anästhesie hervorgerufen. Zunächst durchläuft das Tier jedoch im Wesentlichen die typischen Stadien der Narkoseeinleitung (ERHARDT et al. 1989), wobei insbesondere das Exzitationsstadium bei der Bewertung der Betäubung bzw. des Todeseintritts zu Fehlinterpretationen führen kann (MARTOFT et al. 2002 und PICHLMAYR et al. 1983).

- Die Wirkung der CO₂-Betäubung hält laut Literatur, abhängig von der Gaskonzentration und der Aufenthaltsdauer, durchschnittlich ein bis drei Minuten an (VELARDE et al. 2000 und NOWAK et al. 2007). Bei Aufenthaltsdauern von mehr als zehn Minuten führt die CO₂-Betäubung zum sicheren Tod der Schweine (ANON. 2012d). Bei kürzeren Zeiten ist die CO₂-Betäubung stets als reversibel zu bezeichnen.
- Der CO₂-Betäubung wird ein analgetischer Effekt zugeschrieben (MISCHLER 1996), der möglicherweise einen gewissen Einfluss auf die Todeskontrolle bei den Schlachtschweinen nehmen kann.
- Des Weiteren führt die CO₂-Betäubung nicht zu der genannten Übererregbarkeit der Muskulatur wie sie nach der Elektrobetäubung auftritt (ANON. 2012a).

2.5.6 Einfluss des Entbluteverfahrens auf die Todeskontrolle

Im Folgenden sind die wichtigsten Einflussfaktoren des Entbluteverfahrens beschrieben:

- Nach einer reversiblen Betäubung ist eine zeitnahe und vor allem effektive Entblutung entscheidend für die tierschutzgerechte Tötung von Schlachtschweinen (ANIL et al. 2000 und MEILER et al. 2006). Die Entblutung soll zu einem zügigen und permanenten Abfall des Blutdrucks und dem hiermit verbundenen schnellen Verlust der Blutversorgung des Gehirns führen (EFSA 2004). Nach der CO₂-Betäubung können hierbei längere Stun-to-Stick-Intervalle toleriert werden, als nach der Elektro-Betäubung (BECERRIL-HERRERA et al. 2009). Dieser Aussage sind jedoch Grenzen gesetzt, appellieren MOJE und SCHURR 2003 und RODRIGUEZ et al. 2008.
- Auch die jeweils durchtrennten Gefäße sind für eine wirkungsvolle Entblutung entscheidend (SCHWEIGER et al. 2012).
- MEILER et al. (2005) und TROEGER und MEILER (2006) konnten eine enge Beziehung zwischen der Häufigkeit wahrnehmungs- und empfindungsfähiger Schweine auf der Nachentblutestrecke und der vorher gewonnenen Stichblutmenge pro Zeiteinheit nachweisen. Ab einem Blutverlust von 1,75 % des Lebendgewichtes des Schweines in den ersten zehn Sekunden nach dem Stich kann vom kurz bevorstehenden Tod der Tiere ausgegangen werden.
- Eine liegende Entblutung ist gegenüber einer hängenden aufgrund der Möglichkeit den Entblutestich nach Betäubungsende schneller setzen zu können zu bevorzugen (TROEGER und WOLTERSDORF 1988a). Ob es zu einer größeren Stichblutmenge bei der liegenden oder hängenden Entblutung kommt wird in der Literatur kontrovers diskutiert (WARRISS und LEACH 1978 und KARSCH 1997).
- Übermäßiger Stress, aufgrund der hiermit verbundenen Vasokonstriktion der Gefäße, hervorgerufen durch ausgeschüttete Katecholamine, kann einen negativen Einfluss auf die Entblutung von Schlachtschweinen haben (WARRISS 1978).
- Häufig werden, vor allem aus hygienischen Gründen, Hohlmessersysteme eingesetzt, die jedoch eine visuelle Entblutekontrolle erschweren (TROEGER 2010a, 2011). Bei der offenen Stechmessertechnik kann hingegen der ausströmende Blutfluss direkt beobachtet und bewertet werden (TROEGER 2007). Um den initialen Blutfluss zu verstärken kann der Stecher

nicht nur in Richtung Längsachse des Tieres stechen, sondern zusätzlich auch einen Querschnitt im Hals- und Brustbereich durchführen (ANON. 2007b).

- Die Qualität des Entblutestiches ist zudem stark vom eingesetzten Stechpersonal abhängig (MEILER et al. 2006 und TROEGER 2011). Durch Schulung der Schlachthofmitarbeiter kann sie wesentlich verbessert werden (WOTTON 1996).
- Abschließend seien die heutzutage zunehmend schneller werdenden Schlachtgeschwindigkeiten zu betonen. Diese geben dem Stecher nur wenige Sekunden Zeit einen korrekten Entblutestich zu setzen (ANON. 2012a).

2.5.7 Kriterien der klinischen Untersuchung zur Todeskontrolle

DINSMORE und GARNER (2009) weisen ausdrücklich darauf hin, dass in der Humanmedizin die klinischen Untersuchungsmethoden zur Feststellung des Todes im Vergleich zu den relativ aufwändigen technisch basierten Verfahren einfacher durchführbar und dennoch 100 % sensitiv und spezifisch sind. Im Alltag der Schlachtung von Schweinen können unter anderem EEG-Messungen oder Messungen zerebralen Zirkulationsvermögens, wie sie in der Humanmedizin im Einsatz sind, an jedem Einzeltier ohnehin nur schwer umgesetzt werden. Elektrokardiographische Untersuchungen an Tieren, wie sie von NEWHOOK und BLACKMORE (1982) durchgeführt wurden, sind zum heutigen Zeitpunkt der Forschung lediglich im Experiment denkbar. Demnach muss sich die klinische Untersuchung zur Todeskontrolle von Schlachtschweinen auf Beobachtungen von Spontanbewegungen und einzelne klinische Tests, wie die Schmerzreizprovokation oder die Kontrolle der Gehirnnerven-Reflexe beschränken (EFSA 2004, 2013). Als wesentlichen Punkt bei der Beurteilung der Schlachttiere betont VON HOLLEBEN (2009) hierbei, dass die Nachentblutestrecke stets zugänglich sein muss. Laut dem Handbuch zur Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung wird heute für die Gehirnnerven-Untersuchung die Verwendung einer abgewinkelten Flachrundzange empfohlen (ANON. 2014d). Zur Überprüfung des Cornealreflexes kann jedoch laut EFSA (2013) auch die Fingerspitze oder ein Bleistift verwendet werden. Abb. 2 zeigt die drei wesentlichen Kriterien, zusammengetragen aus der Literatur, die bei einer Kontrolle berücksichtigt werden müssen, um den eingetretenen Tod von Schlachtschweinen sicher aussprechen zu können: **Koma, Apnoe und Gehirnnerven-Areflexie.**

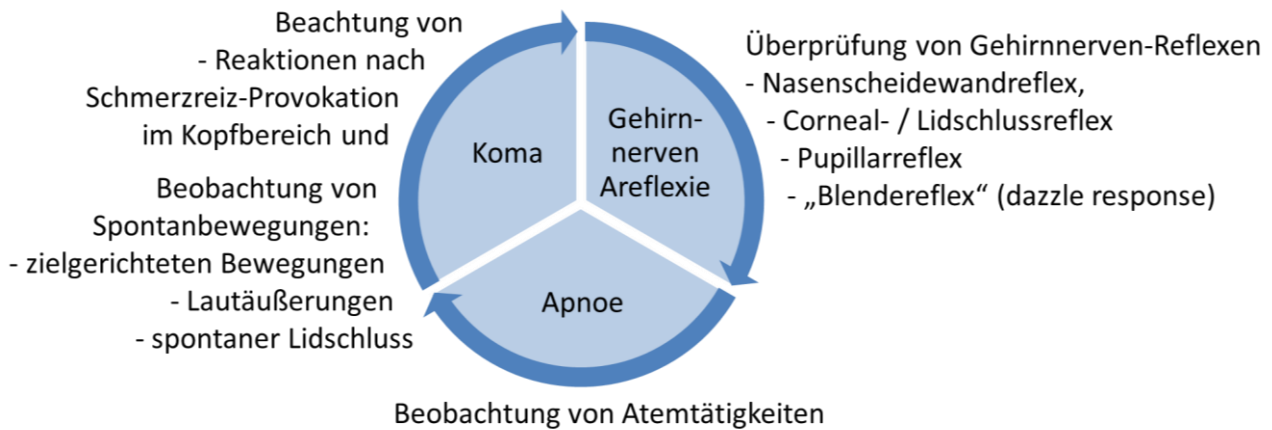


Abb. 2: Überprüfung klinischer Parameter zur Evaluierung des eingetretenen Todes beim Schlachtschwein

(RAJ 1999, VELARDE et al. 2000, TROEGER und MEILER 2006, ANON. 2007a, VOGEL et al. 2010, TROEGER 2011, ANON. 2013a und EFSA 2013, VERHOEVEN et al. 2015)

2.5.8 Stand der Technik automatisierter Verfahren zur Todeskontrolle von Schweinen

Bis heute sind zur automatisierten Kontrolle einer tierschutzgerechteren Schlachtung von Schweinen folgende Systeme auf der Nachentblutestrecke verfügbar:

- Eine **Videoüberwachung** der gesamten Nachentblutestrecke stellt eine Möglichkeit zur visuellen Todeskontrolle von Schlachtschweinen dar (ANON. 2014c). Sie wird jedoch aus arbeits- und datenschutzrechtlichen Gründen noch relativ selten eingesetzt (ANON. 2012a).
- Das in Dänemark entwickelte **Stechkontrollsystem** „VisStick“ überprüft visuell, ob jedes Schwein gestochen wurde (LYKKE et al. 2010). Das System besteht aus einer Kamera, das bei jedem hängenden Schwein zwei Aufnahmen im Abstand von 0,05 Sekunden vor einem lichterhellten Hintergrund aufzeichnet. Die Silhouetten der Schweine werden daraufhin mittels der „VisStick Software“ verarbeitet, wobei darauf geachtet wird, ob von jedem Tierkörper Restblut in Richtung Entbluterinne herabfließt. Nicht gestochene Schweine werden hiermit sicher identifiziert. Im Hinblick auf die Stechkontrolle scheint das System gut zu funktionieren; TROEGER (2010b) bemängelt jedoch, dass es keine Aussage über die austretende Blutmenge zulässt.
- Andere Systeme versuchen eine **Entblutekontrolle** durch Erfassung der gewonnenen Stichblutmenge im Hinblick auf den zukünftigen sicheren Todeseintritt zu etablieren. Auf den engen Zusammenhang zwischen mangelnder Entblutung und der Möglichkeit des Wiedererwachens der Schweine auf der Nachentblutestrecke wurde bereits hingewiesen (MEILER et al. 2005 und TROEGER und MEILER 2006).
 - GREGORY und SLADER (1988) hatten bereits vor einigen Jahren ein computer-gestütztes Verfahren entwickelt, dass eine Wiegung des Blutauffangbehälters durchführen konnte. Das System erwies sich jedoch nicht als aussagekräftig genug.
 - Mit Hilfe der Differenzwägung kann der Entbluteerfolg – theoretisch – erfasst werden (TROEGER 2010b). Hierbei erfolgt eine Wiegung der Schweine vor und etwa 15 Sekunden nach dem Entblutestich. Ist die Differenz der zwei Wiegedaten groß genug, kann davon

ausgegangen werden, dass der Tod des Tieres durch den Blutentzug unmittelbar bevorsteht. Liegt die Differenz unterhalb einer gewissen Toleranz, muss der Schlachthof entsprechende klinische Untersuchungen durchführen, welche die Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit der Schweine sicherstellt. Bis heute ist das System in der Entwicklung, da es noch immer mit einigen Einschränkungen behaftet ist. Es treten hierbei vor allem Fehler bei der Wiegung der Schweine vor dem Erreichen des Entblutezeitpunktes auf.

- Bei geschlossenen Entbluteverfahren, z. B. bei Stechkarussellen, ist es möglich Messungen der mit dem Hohlmesser entzogenen Blutmenge durchzuführen. Hierbei sind die Blutauffangbehälter mit je einem horizontalen Messfühler ausgestattet. Somit ist ein entsprechender Grenzwert, der nicht unterschritten werden darf, definiert. Dieser berücksichtigt jedoch nicht die Größe und das Lebendgewicht des Schlachttieres. Eine Anlage zur automatisierten Entblutekontrolle, basierend auf dem genannten Prinzip, wurde von der Firma Anitec/Butina (Holbaek, Dänemark) für sogenannte RotaStick Anlagen verwirklicht (TROEGER 2010b). Jedoch funktioniert auch dieses System noch nicht zufriedenstellend.
- TROEGER (2011) hatte eine Wärmebildkamera als mögliches Entblutekontrollverfahren untersucht. Hierbei stellte sich heraus, dass es möglich ist den Füllungsgrad des Blutauffangbehälters in Echtzeit zu beobachten. Auf Basis dieser Ergebnisse finanzierte das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft zwischen 2012 und 2014 ein Forschungsprojekt, in dem ein automatisiertes Kontrollverfahren zur Sicherstellung einer vollständigen Entblutung von Schlachtschweinen entwickelt werden sollte (ANON. 2012b). Verschiedene Messsysteme wurden erprobt, wobei sich die Verwendung von Infrarot-Sensoren als vielversprechendstes Verfahren herausstellte (SPRENGER 2014). Diese konnten die Erwärmung der Behälteroberfläche durch das einströmende Blut pro Zeiteinheit detektieren. Sie sollen langfristig in das Stechkarussell integriert werden. Nach ersten Ergebnissen stellte sich hierbei heraus, dass sich der initiale Stichblutanstieg bei Mastschweinen unabhängig vom Geschlecht und Gewicht der Tiere verhält (ARNOLD et al. 2014). Ob das System in der Praxis etabliert werden kann, soll in einem Folgeprojekt am Max Rubner-Institut in Kulmbach untersucht werden.
- Als Alternative oder ergänzend zu den Entblutekontrollverfahren untersuchten TROEGER und MEILER (2006) in einer Machbarkeitsstudie ein Verfahren, das eine direkte **Kontrolle der Reaktions- und Bewegungslosigkeit** der Schweine am Ende der Nachentblutestrecke darstellen sollte. Hierbei setzten die Autoren eine Heißwasser-Spritzanlage ein, die auf den Nasenspiegel der Tiere gerichtet wurde. Somit konnten die Tiere identifiziert werden, deren Gehirn zum Prüfungszeitpunkt noch in der Lage war auf einen schmerzhaften Reiz zu reagieren. Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie waren vielversprechend. Die Sensitivität des Systems lag bei 100 %. Alle Schweine mit positivem Nasenscheidewandreflex hatten vorher auf den Reiz mit einer erkennbaren Bewegung reagiert. Genauere Bewegungsmuster-Analysen wurden hierbei jedoch nicht durchgeführt. Die Studie diente der hier dargestellten Arbeit als Vorstudie.

Da alle genannten automatisierten Systeme zum jetzigen Zeitpunkt entweder keine vollständige Sicherheit bieten können, noch nicht praxistauglich sind oder weiterhin, wie die Videoüberwachung, sehr kritisch betrachtet werden, entstand das Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft „**Erforschung der Möglichkeiten zum Einsatz eines automatisierten Verfahrens zur Feststellung des sicheren Todeseintritts bei der Schlachtung von Schweinen in industriellen Betrieben**“. Das erste Arbeitspaket des Projektes wird unter anderem im folgenden Schriftstück dargestellt.

3 Tiere, Material, Methoden

3.1 Überblick

Das im Rahmen der Innovationsförderung vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geförderte Forschungsvorhaben, in dem die Entwicklung eines automatisierten Verfahrens zur Todeskontrolle von Schlachtschweinen erarbeitet werden sollte, teilte sich, wie bereits erwähnt, in zwei aufeinander folgende Abschnitte ein. Der erste Teil des Projektes war die Entwicklung automatisierter Reizapplikations-Anlagen und die hiermit verbundene Bewertung eines geeigneten Reizmediums. Hierbei sollte ein für sinnvoll erachteter Reiz die Schweine am Ende der Nachentblutestrecke im empfindlichen Kopfbereich reizen. Tiere, die noch in der Lage waren auf einen solchen Stimulus zu reagieren, sollten durch ihre Reiz-Reaktions-Bewegungen von solchen, die keinerlei Bewegungen mehr zeigten, unterschieden werden. Der zweite Abschnitt des gesamten Forschungsvorhabens, die Entwicklung des automatisierten Detektionsverfahrens, wurde von der Autorin mit vorangetrieben, war jedoch nicht inhaltliches Ziel der vorliegenden Arbeit.

Abb. 3 zeigt schematisch den Aufbau eines möglichen vollautomatisierten Todeskontrollverfahrens, das am Ende der Nachentblutestrecke platziert werden könnte. Es kann in sechs aufeinander folgende Schritte unterteilt werden: Zunächst erfolgt die Reizapplikation mittels eines adäquaten Schmerzreizes auf den Tierkörper; ein Kamerasystem oder ein anderes automatisiertes Detektionsverfahren registriert reagierende Schweine vor, während und nach der Reizapplikation; eine Computersoftware verarbeitet die gewonnenen Daten; ein Alarmsignal wird an das Schlachthofpersonal gerichtet; abhängig von der Bandgeschwindigkeit werden betroffene Tiere ausgeschleust und nachbetäubt bzw. getötet; nach erfolgreicher Nachbehandlung wird das entsprechende Tier zeitnah zurück in das Schlachtband verbracht.

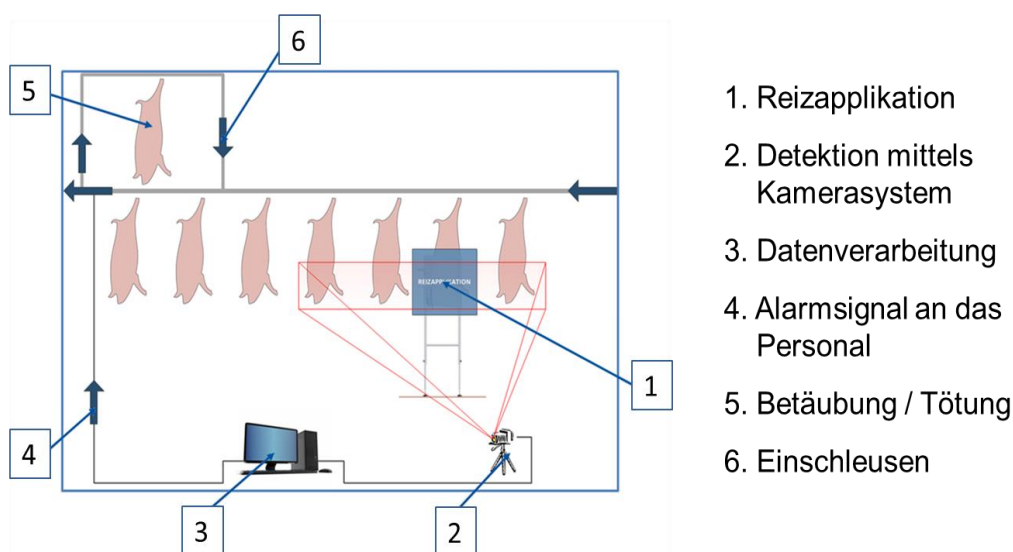


Abb. 3: Schema eines möglichen Verfahrens zur automatisierten Todeskontrolle von Schlachtschweinen

Über ein Jahr wurden in enger Kooperation mit den Projektpartnern, bsi Schwarzenbek und BANSS, mehrere Systeme zur automatisierten Reizapplikation entwickelt. Die Firma BANSS hatte hierbei die Aufgabe, die gemeinschaftlichen Ideen in technisch einsetzbare Anlagen umzusetzen. Die Untersuchungen im Hauptversuch wurden an drei Schlachtbetrieben mit Elektrobetäubung und an drei Betrieben mit CO₂-Betäubung innerhalb Deutschlands durchgeführt. In der vorliegenden Arbeit werden ausschließlich die Schlachtbetriebe, die mit Elektro-Betäubung arbeiteten, behandelt. In der Dissertation von Simon Schreiber, die 2016 erscheinen soll, werden die Ergebnisse der Betriebe, die mit CO₂-Betäubungsanlagen ausgestattet waren, behandelt (SCHREIBER 2016).

Die Versuche zur Identifizierung des adäquaten Reizverfahrens wurden während eines dynamischen Entwicklungsprozesses und unter Feldbedingungen durchgeführt. Bevor mit standardisierten Untersuchungen begonnen werden konnte, fand eine Orientierungsphase statt. Hierbei wurden zehn unterschiedliche mechanische, thermische und elektrische Reize an 500 Schlachtschweinen stichprobenartig eingesetzt. Die Vor- und Nachteile für eine spätere realisierbare Verwendung wurden während dessen diskutiert. Chemische Reize wurden in Erwägung gezogen, kamen jedoch nicht zum Einsatz, da es Ziel des Projektes war einen Reiz zu finden, der am Schlachthof ohne größeren Aufwand verfügbar sein kann. Anschließend wurden drei der in der Orientierungsphase verwendeten Reize, die vielversprechend erschienen, für den Vorversuch ausgewählt und an 1.770 Mastschweinen untersucht. Hiernach folgte der Hauptversuch, bei dem die Applikation des für sinnvoll erachteten Reizes mittels der zeitgleich entwickelten Reizapplikations-Anlage automatisiert appliziert wurde. Insgesamt wurden 5.301 elektrisch betäubte Schweine im Hauptversuch untersucht.

3.2 Schlachtbetriebe

Für die durchgeführten Versuche wurden drei Schlachthöfe in Deutschland aufgesucht, die mit unterschiedlichen Elektro-Betäubungsverfahren und Entblutetechniken arbeiteten. Die Untersuchungen während der Vor- und Hauptversuche – exklusive der Orientierungsphase – fanden über den Zeitraum eines Jahres statt. Bei der Auswahl der Betriebe war entscheidend, dass ausreichend Platz für alle Gerätschaften und die Reiz-Anlage zur Verfügung stand. So konnten die Versuche an allen drei Schlachthöfen im Wesentlichen standardisiert durchgeführt werden. Drei unterschiedliche elektrische Betäubungssysteme wurden aufgrund dessen gewählt, die Untersuchung an die verschiedenen technischen und baulichen Gegebenheiten der Schlachtverfahren anpassen zu müssen. Es war hierbei weniger entscheidend eine statistisch haltbare Vergleichbarkeit der Systeme zu ermöglichen. Die drei Schlachtbetriebe, genannt Schlachthof A, B und C sind in Tabelle (Tab.) 22 im Anhang mit entsprechenden Kriterien tabellarisch aufgeführt.

3.3 Schweine

In den Untersuchungen der Vor- und Hauptversuche wurden insgesamt **7.071 Mastschweine** untersucht, dargestellt in Tab. 1. Diese Stichprobe wurde gewählt, um aus der in früheren Untersuchungen gefundene Inzidenz von einem Prozent wahrnehmungs- und empfindungsfähiger Schweine, laut SCHÜTTE und BOSTELMANN (2001), TROEGER et al (2005) und TROEGER und

MEILER (2006), eine statistische ausreichend große Anzahl von Reagenten zu erhalten. Es wurden 3.498 männlich-kastrierte und 3.573 weibliche Mastschweine erfasst. Hierdurch ergab sich ein Verhältnis männlich-kastrierter zu weiblicher Schweinen von 1:1,02. Intakte männliche Tiere kamen während den Untersuchungen nicht vor. In Schlachthof A wurden die Daten von insgesamt 4.031 Mastschweinen und in Schlachthof B von insgesamt 2.772 Mastschweinen ausgewertet. In Schlachthof C wurden aufgrund der niedrigen Schlachtleistung lediglich 268 Mastschweine untersucht. Die genetische Herkunft der Mastschweine war unbekannt. Es kann davon ausgegangen werden, dass es sich um typische Masthybriden der Rassen Pietrain, Deutsche Landrasse und Deutsches Edelschwein handelte. Das Schlachtgewicht eines Mastschweines, das retrospektiv durch die Klassifizierungswerte aller geschlachteten Mastschweine je Untersuchungstag erfasst wurde, betrug durchschnittliche 97 kg. Geht man von einem durchschnittlichen Ausschlachtungsgrad von 80 % aus, ergeben sich für die untersuchten Mastschweine Lebendendgewichte von 121 kg Körpergewicht. Hiervon abweichende Tiere, wie Sauen oder Ferkel, wurden in den Untersuchungen nicht erfasst.

Tab. 1: Untersuchte Schweine in Vor- und Hauptversuch je Schlachthof

	Schlachthof A	Schlachthof B	Schlachthof C	Gesamt
Anzahl untersuchter Schweine	4031	2772	268	7071
Geschlechterverhältnis (mk. : w.)	1:1,03	1:1,02	1:0,81	1:1,01
durchschnittliches Schlachtgewicht (kg)	97,5	95,0	98,7	97,1

mk. = männlich-kastriert, w. = weiblich, kg = Kilogramm

3.4 Einsatz eines automatisierten Reizverfahrens

3.4.1 Vorversuch: Reizung mittels Heißwasser, Kaltwasser und Strom

Bevor mit dem Hauptversuch begonnen werden konnte, wurden drei ausgewählte Reizmedien in Schlachthof A untersucht, dargestellt in Tab. 2. Hierbei erfolgte die Reizapplikation vier bis fünf Minuten nach Entblutestich. Folgende Reize kamen zur Anwendung:

- **Heißwasser** wurde mit 65 °C und 15 Sekunden Reizdauer als ein schmerzhafter thermischer Hitzereiz an 514 Mastschweinen untersucht. Es hatte in der Orientierungsphase zu Bewegungen einzelner Tiere geführt und war bereits von anderen Wissenschaftlern erfolgreich eingesetzt worden (TROEGER und MEILER 2006).
- **Kaltwasser** wurde mit 13 °C und 15 Sekunden Reizdauer als ein taktile und unangenehmer, jedoch nicht notwendigerweise schmerzhafter Kälte-Reiz an 594 Mastschweinen eingesetzt. Die Entwicklung der ersten Reizapplikations-Anlage begann zeitlich parallel zu den Vorversuchen. Die Wasserapplikation mit heißem bzw. kaltem Wasser konnte deswegen mit Hilfe der von der Firma BANSS erbauten Konstruktion bereits automatisiert durchgeführt werden.
- **Strom** wurde mit 0,25 Ampere und zwei Sekunden Reizdauer an 662 Mastschweinen als ein kurzer schmerzhafter elektrischer Reiz untersucht. Der Reiz war mit wenig Aufwand in den

Schlachtprozess integrierbar und hatte in der Orientierungsphase ebenfalls zu einzelnen Reaktionen von Schweinen geführt. Mit Hilfe eines elektrischen Betäubungsgerätes der Firma Freund Maschinenfabrik GmbH & Co. KG aus Paderborn und der Betäubungszange der Firma Karl Schermer GmbH & Co. KG aus Ettlingen, Gerätetyp ZK-1 konnte der Stimulus im Kopfbereich der Schweine appliziert werden.

Tab. 2: Vorversuch: Anzahl untersuchter Mastschweine je Reizverfahren in Schlachthof A

n untersucht	1770
Heißwasser: 65 °C für 15 Sekunden	514
Kaltwasser: 13 °C für 15 Sekunden	594
Strom: 0,25 Ampere (maximal 50 Volt, 400 Hertz) für 2 Sekunden	662

3.4.2 Hauptversuch: Reizung mittels Heißwasser

Der Hauptversuch lief wie folgt ab: Die Mastschweine wurden am Ende der Nachentblutestrecke, das heißt vier bis fünf Minuten nach Entblutestich, mit heißem Wasser gereizt um eine Aussage über den Verlust ihrer Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit treffen zu können. Auf diese Weise sollte herausgefunden werden, ob sich heißes Wasser in dieser Applikationsform als Prüfmedium eignet. Die Wassertemperatur des Reizes betrug 65 °C, gemessen am Austrittspunkt der Flachstrahldüsen. Mit dem Reiz „Heißwasser“ wurden im Hauptversuch insgesamt 5.301 Mastschweine untersucht. Auf die baulichen Gegebenheiten des jeweiligen Schlachthofes angepasst, wurde die automatisierte Reizapplikations-Anlage am Ende der Nachentblutestrecke platziert. Die Dauer des Heißwasser-Reizes konnte durch die variabel verschließbaren Flachstrahldüsen je nach Schlachtgeschwindigkeit standardisiert werden. Die Reizapplikationsdauer betrug, außer in einer Versuchsvariante, 15 Sekunden. In diesen Untersuchungen wurden insgesamt 4.022 Mastschweine, 2.261 in Schlachthof A, 1.493 in Schlachthof B und 268 in Schlachthof C, beurteilt. Aus Sicht des Tierschutzes ist jedoch eine kurze Reizdauer gegenüber einer längeren zu bevorzugen, damit die Tiere dem schmerzhaften Stimulus nur so lang wie nötig ausgesetzt sind. Aufgrund dessen wurde eine zweite Versuchsreihe durchgeführt, bei der die Dauer des Reizes von 15 auf fünf Sekunden reduziert wurde. Um die Vergleichbarkeit des längeren gegenüber dem kürzeren Reiz sicher zu stellen, wurde diese Versuchsvariante, im Folgenden als „verkürzte Reizdauer“ bezeichnet, ausschließlich in Schlachthof B durchgeführt. Hierbei wurden weitere 1.279 Mastschweine untersucht. Tab. 3 zeigt die zwei Versuchsreihen des Hauptversuchs mit der jeweiligen Gesamtzahl untersuchter Mastschweine.

Tab. 3: Hauptversuch: Anzahl untersuchter Mastschweine je Versuchsreihe und Schlachthof

	SH A	SH B	SH C	Gesamt
n untersucht (Reizdauer)	2261	2772	268	5301
Heißwasser-Reiz (15 Sekunden)	2261	1493	268	4022
Variante „verkürzte Reizdauer“ (5 Sekunden)	-	1279	-	1279

SH = Schlachthof

3.4.3 Entwicklung der automatisierten Wasserreizanlage

Parallel zur Orientierungsphase vor Beginn der Vor- und Hauptversuche wurde zusammen mit der Firma BANSS bereits an einer möglichen Reizapplikations-Anlage gearbeitet. Nach Abschluss der Vorversuche konzentrierte sich das weitere Vorgehen der Entwicklung ausschließlich auf den Reiz „Heißwasser“. So wurden im Laufe des Forschungsvorhabens vier Prototypen für Betriebe mit elektrischen Betäubungsanlagen entwickelt. Sie wurden jeweils an die bauliche Situation des Schlachthofes angepasst. Abb. 4 zeigt den schematischen Aufbau der ersten Reizapplikations-Anlage. Dieser Prototyp kam in den eigentlichen Untersuchungen nicht zum Einsatz, bildete aber das Grundgerüst der nachfolgenden Wasserreizanlagen. Er bestand aus einem Stahlgerüst mit einer steuerbaren Einrichtung für den Zufluss des Wassers. Zwei Seitenwände und das verbindende Bodenelement bildeten das Grundgerüst. Die Seitenwände wiesen bis an den Boden des Auffangbeckens eine Höhe von 110 cm auf. Dieses war an seiner weitesten Stelle 100 cm breit und 66 cm tief. Um Reaktionen der Tiere besser beobachten zu können wurde in eine der beiden Seitenwände eine durchsichtige Acrylglas-Scheibe verbaut. An einem Abflussrohr unterhalb des Auffangbeckens konnte ein Abflussschlauch mit einem Durchmesser von acht cm angebracht werden. Vier Standbeine, die jeweils höhenverstellbar waren, ermöglichten einen sicheren Stand und ein waagerechtes Ausrichten der Wasserreizanlage an der Nachentblutestrecke. Alle Konstruktionen wurden am Schlachtband so in ihrer Höhe angepasst, dass der Abstand zwischen den Flachstrahldüsen und dem rostralen Körperende der hängenden Schweine im Schnitt bei 30 cm lag. Der zunächst quer verlaufende Düsenstock mit seinen hier befestigenden Flachstrahldüsen bildete das Herzstück der Reizapplikations-Anlage. Das heraussprühende Wasser aus den Flachstrahldüsen am Boden der Anlage sollte das Gesicht und insbesondere die Rüsselscheiben der Schweine von rostral erreichen. Der erste Prototyp war zudem mit seitlichen Flachstrahldüsen ausgestattet, welche die Schweineköpfe in den Bereichen der Ohren oder Augen bzw. Augenlider besprühen sollten.

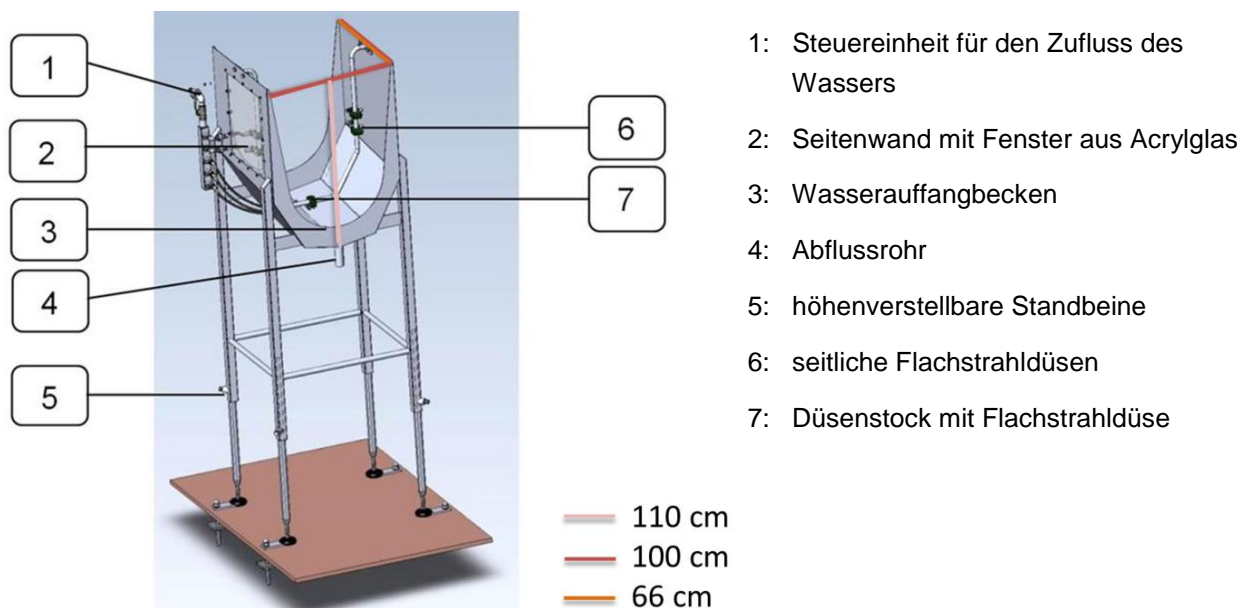


Abb. 4: Schematischer Aufbau der ersten Wasserreizanlage, Prototyp 1

Prototyp 1 (Abb. 4, 5 und 6) kam in den eigentlichen Versuchen nicht zum Einsatz. Er wurde lediglich in der Orientierungsphase in einem Schlachthof erprobt. Die seitlichen Flachstrahldüsen wurden in den folgenden Reizapplikations-Anlagen nicht weiter eingesetzt, da von ihnen kein zusätzlicher Nutzen im Sinne deutlicherer Reaktionen der Schweine erwartet wurde. Ihre seitliche Wasserstrahlrichtung erschwerte zudem die Beobachtung der Schweine. Am quer verlaufenden bodennahen Düsenstock wurden in der Orientierungsphase bis zu zwei Flachstrahldüsen befestigt, womit die Häufigkeit des Wasserkontaktes im Kopfbereich der Schweine variiert werden konnte.

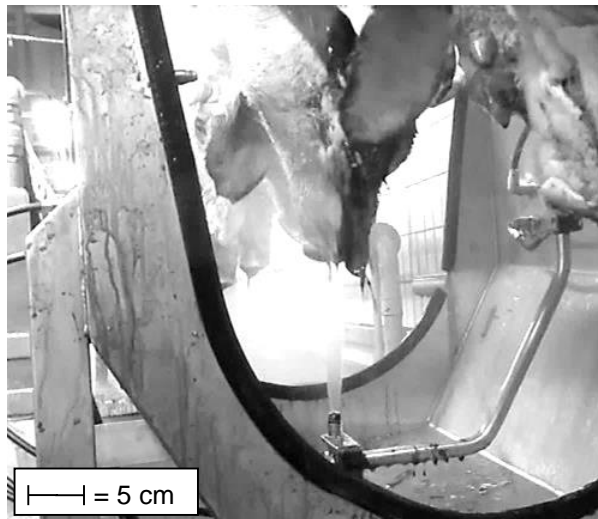


Abb. 5: Wasserreisanlage: Prototyp 1 mit einer Flachstrahldüse am Boden

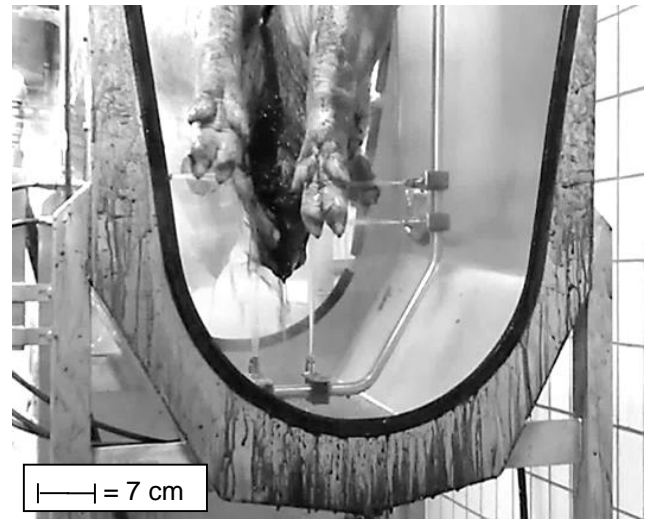


Abb. 6: Wasserreisanlage: Prototyp 1 mit zwei Flachstrahldüsen am Boden und an den Seitenwänden

Prototyp 2 (Abb. 7 und 8) kam in den Vor- und Hauptversuchen in Schlachthof A zum Einsatz. Bei dieser Anlage waren die Seitenwände primär für das Auffangen des heraussprühenden Wassers vorgesehen. Anstelle der Flachstrahldüsen am Boden der Anlage des ursprünglich quer verlaufenden Düsenstockes wurden nun zwei längs verlaufende Düsenstockreihen mit jeweils acht verwendbaren Flachstrahldüsen montiert. In den Versuchen wurden je Düsenstockreihe drei Düsen geöffnet. Die zwei Düsenstockreihen waren in einem Abstand von 10 cm und die verwendeten Flachstrahldüsen jeder Reihe jeweils in einem Abstand von 16 cm angebracht. Das verwendete Wasser konnte beinahe vollständig aufgefangen und mittels eines Abflussrohrs und -schlauches abgeleitet werden. In Schlachthof A verlief die Rohrbahn kurz nach dem gewählten Standort der Reisanlage in einer Linkskurve, so dass die Beobachtung der Schweine direkt von vorne in die Reisanlage hinein möglich war. So behinderten die Seitenwände die Sicht auf die Tiere nicht.

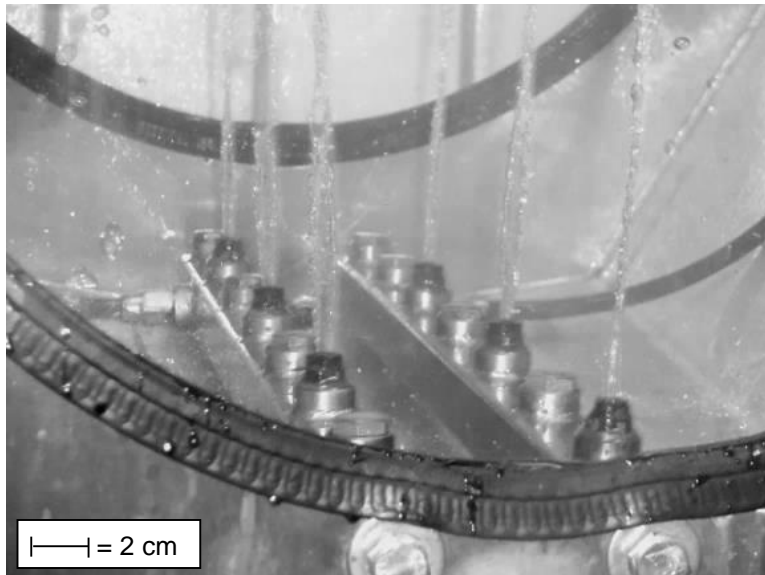


Abb. 7: Wasserreisanlage: Prototyp 2 mit zwei Düsenstockreihen und je drei offenen Flachstrahldüsen



Abb. 8: Wasserreisanlage: Prototyp 2

In **Prototyp 3** (Abb. 9 und 10), der im Hauptversuch in Schlachthof B zum Einsatz kam, wurden die Seitenwände der vorhergehenden Anlage entfernt, da aufgrund der baulichen Situation nur eine seitliche Beobachtung der Schweine während der Reizapplikation möglich war. Das ursprünglich hierfür vorgesehene Sichtfenster aus Acrylglas erwies sich für eine eindeutige Beurteilung der Bewegungen und Reaktionen als nicht ausreichend groß. Die zwei Düsenstockreihen waren in einer stählernen Wanne eingelassen. Diese war 30 cm breit und 66 cm lang. Aufgrund der baulichen Situation wurde die Reizapplikations-Anlage mit Hilfe von höhen- und tiefenverstellbaren Streben an der Seitenbegrenzung der Entbluterinne befestigt. Um die Sicherheit der Reizung im Rüsselbereich der Schlachtschweine zu erhöhen, wurde eine dritte Düsenstockreihe mit je drei geöffneten Flachstrahldüsen verbaut. Die drei Düsenstockreihen waren in einem Abstand von zehn cm zueinander angebracht. Je nach Versuch konnten, wie bei Prototyp 2, die Flachstrahldüsen durch Verschluss-schrauben variabel verschlossen oder offen gehalten werden.



Abb. 9: Wasserreisanlage: Prototyp 3

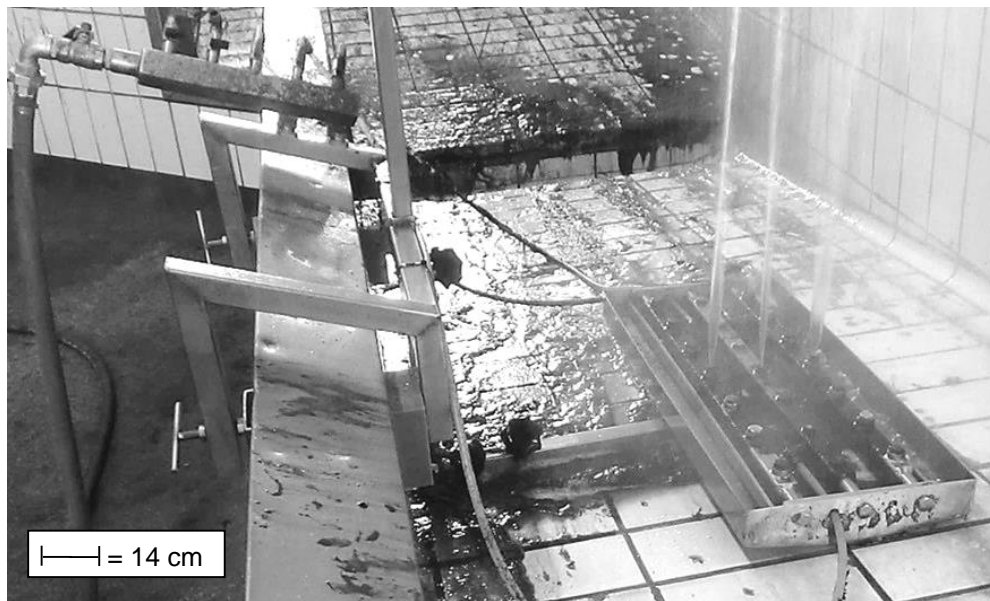


Abb. 10: Wasserreisanlage: Prototyp 3 ohne Seitenwände, Befestigung an der seitlichen Begrenzung der Entbluterinne

Prototyp 4 (Abb. 11 und 12), der im Hauptversuch in Schlachthof C zum Einsatz kam, war die am stärksten vereinfachte Variante aller bis dato entwickelten Reisanlagen. Da die Entbluterinne bereits den standardisierten Abstand von 30 cm zu den Schweineköpfen ermöglichte, konnte die Düsenwanne mit den drei Düsenstockreihen direkt auf den Boden der Entbluterinne platziert werden. Gummierte Sockel, die das Wegrutschen der Anlage verhinderten, mit einer maximalen Höhe von vier cm, stellten die Düsenwanne auf der abfallenden Entbluterinne in die Waagerechte.

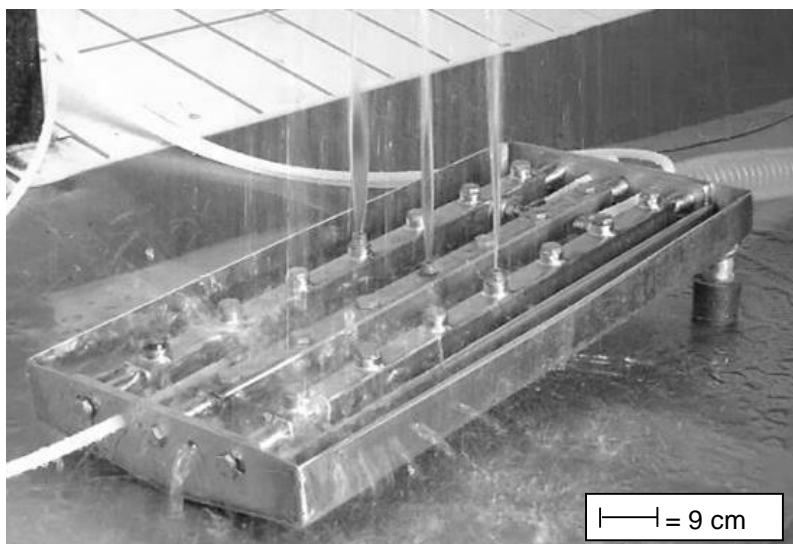


Abb. 11: Wasserreisanlage: Prototyp 4, einfachste Bauart, freier Stand auf der Entbluterinne

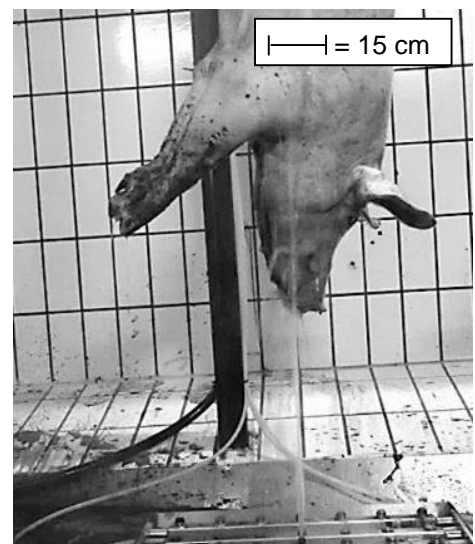


Abb.12: Wasserreisanlage: Prototyp 4

3.4.4 Versuchsablauf, Aufzeichnungs- und Auswertemethodik

Um die Funktionalität der entwickelten Reizanlagen zu prüfen wurde die Nachentblutestrecke zwischen Stechbereich und Beginn der Brühung bzw. der Vorwäsche in drei Abschnitte unterteilt. Dem ausschließlichen Beobachtungsbereich zwischen Entblutestich und Reizapplikation folgte das zweigeteilte Testareal. Zuerst, das heißt vier bis fünf Minuten nach Entblutestich, erfolgte die Reizung der Schweine und im Anschluss, innerhalb von 30 Sekunden nach Reizapplikationsende, eine klinische Untersuchung der Gehirnnerven jeden Tieres. Für die Dokumentation der Ereignisse wurden zwei digitale Videokameras mit Hilfe von Stativen an geeigneten Positionen neben dem Schlachtband platziert. Eine Videokamera filmte die Schlachtschweine im Bereich vor der Reizapplikation; die zweite Videokamera zeichnete die Situation während der Reizapplikation bis zum Beginn der Weiterverarbeitung auf. Des Weiteren kamen Sprachaufzeichnungsgeräte zur unmittelbaren Dokumentation von Beobachtungen und Befunden zum Einsatz. Auch wurden handschriftliche Notizen angefertigt.

Die betäubten und bereits gestochenen Schweine wurden in Chargen von jeweils 80 Tieren eingeteilt, wobei immer das erste Schwein einer jeden Charge mittels eines Viehmarkierungssprays farbig gekennzeichnet wurde. In jeder der beiden Videokameraeinstellungen war auf diese Weise jedes Tier eindeutig zuordenbar. Untersucher 1 koordinierte die Videokameras, übernahm die Markierung der Schweine und beobachteten die Tiere intensiv. Untersucher 2 befand sich ein bis zwei Meter nach der Reizanlage und untersuchte jedes Schwein auf das Vorhandensein von Gehirnnerven-Reflexen bzw. -Restfunktionen. Die Befunde dienten als objektive Referenz zu den Beobachtungen während der Reizapplikation. Wurden bei einem Schwein positive Befunde festgestellt erfolgte die Nachbetäubung bzw. Tötung des Tieres mittels des Bolzenschussgerätes CASH Magnum Euro Stunner 5660 (.25 Kaliber) der Firma Accles and Shelvoke Ltd. (Sutton Coldfield, Großbritannien) mit schwarzer Ladung. Da beide Untersucher je einen Klickzähler zum kontinuierlichen Durchzählen der Schweine jeder Charge verwendeten, konnte jedes auffällige Tier direkt während der Untersuchung mit einer eindeutigen Durchlauf-Ziffer benannt und identifiziert werden. Abb. 13 zeigt schematisch den beschriebenen Versuchsaufbau.

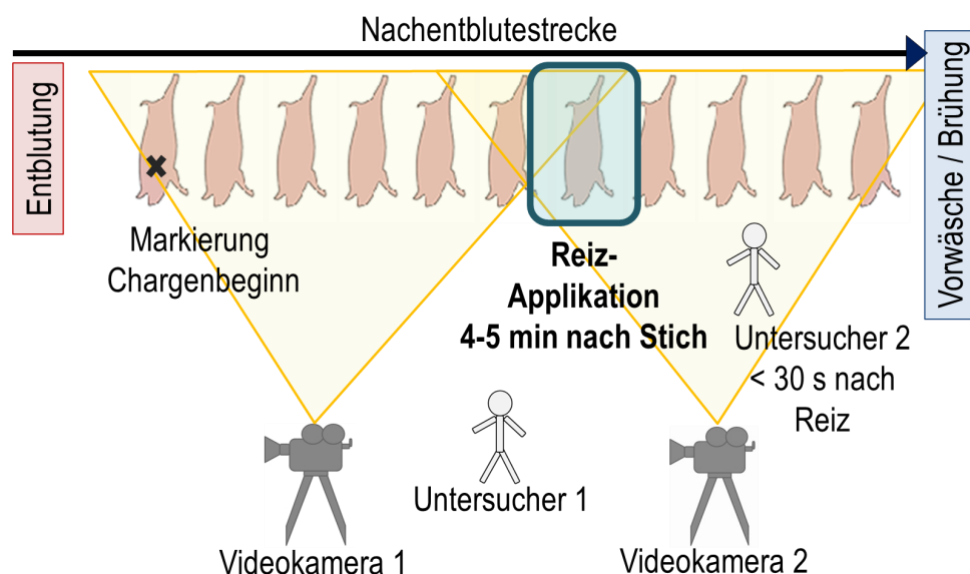


Abb. 13: Schema des Versuchsaufbaus

Das auszuwertende Videomaterial umfasste 70 Stunden Aufzeichnungsdauer. Die Betrachtung der Videofilme erfolgte mit dem Programm „PlayMemories Home“ (Version 2.0.00.11271, Sony Europe Ltd., Weybridge, Großbritannien). Das Videomaterial wurde auf möglichst objektiv deskriptive Weise behandelt. Die Bewertung der definierten Kriterien wurde hierbei entweder mit einem „ja“ oder „nein“ notiert.

Im Hinblick auf die im Projektplan vorgesehene Entwicklung eines automatisierten Detektionsverfahrens ohne Untersucherbeteiligung, wurden im nächsten Schritt die bewegungsauffälligen Mastschweine, nach dem jeweiligen Ausmaß ihrer Bewegungen beurteilt. Schwache bzw. schwer erkennbare Reaktionen wurden aufgrund dessen von starken bzw. leicht erkennbaren Bewegungen unterschieden. Die Bezeichnung „Schwer erkennbar“ bedeutete hierbei, dass der Beobachter – Untersucher 1 – sehr genau hinsehen musste, um die Bewegungen des reagierenden Schlachttieres zu erkennen, diese sehr langsam durchgeführt oder weniger als drei Mal wiederholt gezeigt wurden. „Leicht erkennbar“ bedeutete hingegen, dass die betreffenden Schweine durch ihre Bewegungen eine derart deutliche Veränderung ihrer Körpersilhouetten aufwiesen, dass sie nicht zu übersehen waren. Dieselbe Definition galt auch für den Fall, dass die Reaktionen der Tiere drei Mal oder häufiger gezeigt wurden.

Des Weiteren sollten alle beobachteten Bewegungen auf der gesamten Nachentblutestrecke, spontan gezeigte oder reizinduzierte, in unterscheidbare Muster eingeteilt werden. Hierzu wurden definierte Bewegungen aus der Literatur herangezogen (ANIL 1991, ATKINSON et al. 2012, EFSA 2013 und GRANDIN 2013). Folgende Muster wurden unterschieden: „Atmungs-bewegungen“, „Aufrichteversuche“, „Kopf schütteln“, „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“, „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“, „Vokalisation“, „Grimassieren“ und „Spontaner Lidschluss“. Abb. 14 zeigt das vorläufige Auswerteschema mit den definierten Bewegungsmustern für die Analyse der Spontanbewegungen und reizinduzierten Reaktionen.

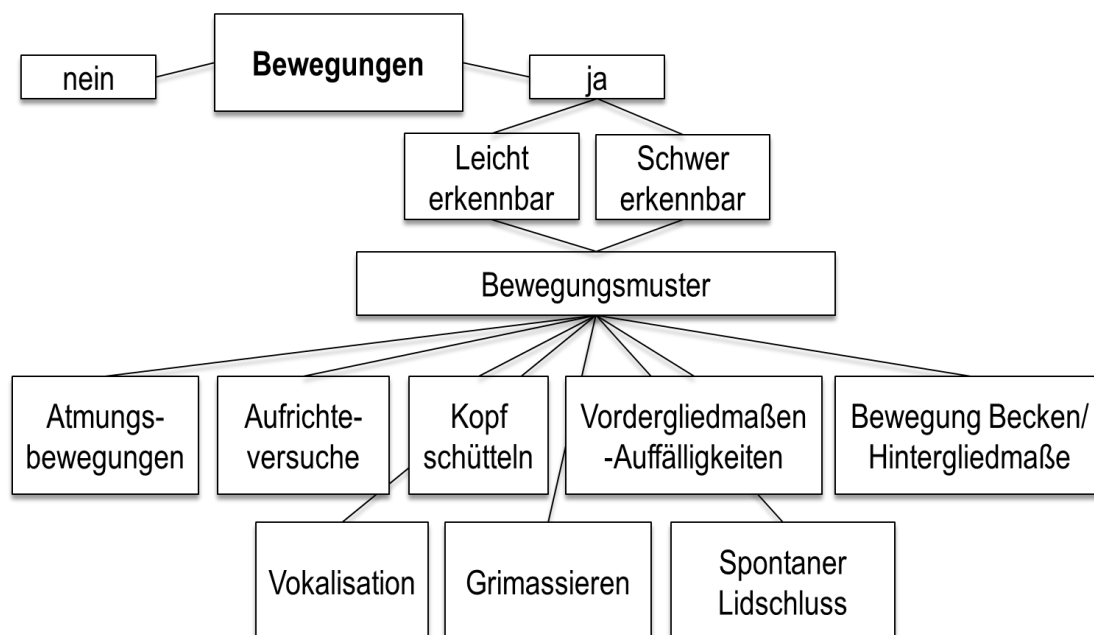


Abb. 14: Auswerteschema für die Analyse der Spontanbewegungen und Reiz-Reaktionen

3.4.5 Untersuchung der Gehirnnerven nach Reizapplikation

Zusätzlich zur reinen Dokumentation der Bewegungen der Schweine während und kurz nach der Reizapplikation, war es Ziel der Untersuchungen die Reaktionen auf eine möglichst objektive Art und Weise zu bewerten. Hierzu wurde das Vorhandensein dreier Hirnstamm-Reflexe in Kombination mit einem kurzen Schmerzreiz bei jedem Schwein untersucht. Ein positiver Befund in dieser so genannten Gehirnnerven-Untersuchung bedeutete, dass das untersuchte Schwein nicht als hirnstammtot zu bezeichnen war. Er konnte nur bei solchen Tieren auftreten, die noch in einem gewissen Maße Funktionalität im Hirnstamm aufwiesen. Ein Ausbleiben einer Reaktion auf die Reizung der Gehirnnerven hängt demzufolge mit mindestens einer neuronalen Unterbrechung im entsprechenden Reflexbogen oder in den efferenten bzw. afferenten Nervenbahnen zusammen. Um eine möglichst standardisierte Gehirnnerven-Untersuchung sicher zu stellen, und aufgrund von Empfehlungen des Handbuchs zur Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (ANON. 2014d) wurde für die Tests eine abgewinkelten Flachrundzange als Hilfsmittel verwendet. Auch BRIESE (1996) hatte den Einsatz des genannten Zangentyps bereits erfolgreich getestet. Abb. 15 und 16 zeigen das eingesetzte Hilfsmittel.

Einige der im Hirnstamm verschalteten Gehirnnerven, vor allem der sensibel innervierende nervus trigeminus und der primär motorische nervus facialis, wurden durch Prüfung des **Corneal- und Lidschlussreflexes** untersucht. Dieser Test, dargestellt in Abb. 15, wird der Einfachheit halber im folgenden Text als „Augentest“ bezeichnet. Hierfür wurden an einem Auge eines jeden zu untersuchenden Schweines die Cornea und die Lider mit der Spitze der Flachrundzange touchiert und ein hiernach auftretender Lidschluss als positiver Befund dokumentiert. Der dritte getestete Hirnstamm-Reflex, der **Nasenscheidewandreflex**, kann ebenso die Funktionalität des nervus trigeminus und des nervus facialis widerspiegeln. Von rostral wurde hierfür bei jedem Schlachtschwein die Flachrundzange durch die Rüssellöcher um die Nasenscheidewand platziert und mit deutlichem Druck geschlossen. Die Durchführung des Tests wird in Abb. 16 dargestellt. Bei einem positiven Nasenscheidewandreflex war eine schnelle zuckende Bewegung des Schweinekopfes zu verzeichnen. Des Weiteren konnte neben dieser unbewussten Reflexbewegung in vielen Fällen auch eine deutliche Abwehrreaktion der untersuchten Tiere beobachtet werden. Zielgerichtetes Abwehrverhalten kann mit aktivierter nervaler Reizweiterleitung assoziiert sein, die über den Thalamus bis in die Großhirnrinde reicht und dort zu einer bewussten Schmerzempfindung führen kann. Da die Übergänge von einer reinen Reflexbewegung zu einer echten Schmerzreizreaktion jedoch fließend sind und eine Unterscheidung zwischen ihnen nicht immer möglich erschien, wurden die zwei möglichen Testergebnisse nicht differenziert verwertet. Der Test wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit als „Nasenscheidewandtest“ bezeichnet. Weitere Gehirnnerven-Reflexe, wie der Pupillar- oder Blendreflex wurden stichprobenweise untersucht, stellten sich jedoch nicht als konstant sicher bewertbar heraus und blieben aufgrund dessen in der Auswertung unberücksichtigt.

Bei der Auswertung der Daten wurden als erstes alle Schweine mit mindestens einem positiven Befund im „Augentest“ oder „Nasenscheidewandtest“ zusammenfassend beurteilt und mit der Bezeichnung „positiver Gehirnnerven-Befund“ bzw. „hirnstammpositiv“ dokumentiert. Wies das jeweilige Schwein lediglich einen positiven Befund, entweder im „Augentest“ oder im

„Nasenscheidewandtest“ auf, wurde es als „einfach positiv“ bezeichnet. Waren beide Tests positiv wurde das Tier mit der Kennzeichnung „doppelt positiv“ festgehalten.



Abb. 15: "Augentest": Untersuchung des Corneal- und Lidschlussreflexes



Abb. 16: „Nasenscheidewandtest“: Untersuchung des Nasenscheidewandreflexes und Schmerzprovokation

3.5 Spontanbewegungen auf der Nachentblutestrecke

Neben der Entwicklung und Bewertung des Reizverfahrens zur Todeskontrolle am Ende der Nachentblutestrecke wurden spontane Bewegungen der Schweine, das heißt Bewegungen, die ohne externen Einfluss erfolgten, zwischen Entblutestich und Reizapplikation dokumentiert und ausgewertet. In Schlachthof A begann die videodokumentierte Beobachtung aus baulichen Gründen erst zwei Minuten nach dem Stechen. An den Schlachthöfen B und C war es jedoch möglich die Schweine bereits ab dem Entblutestich zu filmen. In Schlachthof B lag in den ersten zwei Minuten nach dem Stich eine Liegend-Entblutung vor. In Schlachthof C wurden die Schweine von Beginn an hängend entblutet. Durch den Vergleich der spontanen Bewegungen mit den Reaktionen während der Reizapplikation bzw. mit den Befunden der Gehirnnerven-Untersuchung war es Ziel dieser Untersuchungen, eine tierschutzrelevante Bewertung der gezeigten Spontanbewegungen zu erarbeiten.

3.6 Bewegungen beim Anschlingen

In Schlachthof B war es möglich die Schweine während des Anschlingens zwei Minuten nach dem Entblutestich zu beobachten. Als positive Abwehr-Reaktion wurde hierbei ein deutliches Ausschlagen eines der Hinterbeine gewertet. Ziel war es herauszufinden, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von wahrnehmungs- und empfindungsfähigen Schweinen am Ende der Nachentblutestrecke und reagierenden Tieren während des vorherigen Anschlingens gibt.

3.7 Elektrische Nachbetäubung auf der Nachentblutestrecke

In Schlachthof B war es des Weiteren möglich die elektrische Nachbetäubung durch das Schlachthofpersonal zu beobachten. Hierbei wurde ein Transformator vom Typ FB 2000-05/„B“ und

eine Zwei-Hand-Zange vom Typ EBZ der Firma Fuhrmann Elektrotechnik GmbH aus Neckargemünd eingesetzt. Die Voreinstellungen der Betäubungsanlage betrugen 1,3 Ampere const. (maximal 360 Volt, 500 Hertz). Es erfolgte stets eine ausschließliche Kopf-Durchströmung der betroffenen Schlachtschweine. Um die Wirkung dieser Art der Nachbetäubung zu bewerten, wurden die Ergebnisse mit den späteren Beobachtungen und Befunden auf der Nachentblutestrecke korreliert.

3.8 Statistische Analysen

Für die Datendokumentation und die graphische Darstellung der deskriptiven Ergebnisse wurde die Software Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Vereinigte Staaten von Amerika) verwendet. Zur statistischen Auswertung kam die Software JMP® 11 (SAS Institute Inc. 2013, Cary, North Carolina, Vereinigte Staaten von Amerika) zum Einsatz. Die Unabhängigkeit nominaler Daten wurde jeweils mit dem exakten Fisher-Test geprüft. Bei der Auswertung metrischer Daten der Spontanbewegungen, insbesondere der Atmungsbewegungen, wurde eine nichtparametrische Analyse mittels des robusten Wilcoxon-Tests, Normal-Approximation, durchgeführt, da in vielen Fällen keine Normalverteilung vorlag. Bei allen Analysen wurde das Signifikanzniveau auf 5 % festgelegt. Differenziert wurde hierbei zwischen signifikanten ($p < 0,05$), hochsignifikanten ($p < 0,01$) und höchstsignifikanten Unterschieden ($p < 0,001$).

Um das Reizverfahren als Testmethode zu bewerten wurden mit Hilfe des Programms „Diagnostic test evaluation“ der Software „MedCalc Software bvba“ (Version 13.1.2, MedCalc Software, Ostend, Belgien) die Sensitivität, Spezifität und der positive und negative prädiktive Wert errechnet. Zur Intervallschätzung wurde jeweils das Konfidenzintervall mit einem Konfidenzniveau von 95 % mit angegeben. Der Verständlichkeit halber sind in Tab. 4 der Aufbau einer Vier-Felder-Tafel dargestellt und in Tab. 5 die jeweiligen Berechnungsformeln und die Bedeutungen der Bewertungsparameter beschrieben.

Tab. 4: Aufbau einer Vier-Felder-Tafel

Reiz-Test	Gehirnnerven-Befund				Zeilensumme
	positiv		negativ		
positiv	richtig positiv:	a	falsch positiv:	b	a + b
negativ	falsch negativ:	c	richtig negativ:	d	c + d
Spaltensumme		a + c		b + d	

Tab. 5: Berechnungsformel und Bedeutung der zur Bestimmung der Qualität und Sicherheit der Reiztests notwendigen Bewertungsparameter

Bewertungsparameter	Berechnungsformel	Bedeutung
Sensitivität	$a / (a + c) * 100$	Prozentuale Wahrscheinlich, dass das Reiztestergebnis positiv ausfällt, wenn es sich um klinisch hirnstammpositive Tiere handelt
Spezifität	$d / (b + d) * 100$	Prozentuale Wahrscheinlich, dass das Reiztestergebnis negativ ausfällt, wenn es sich um klinisch hirnstammnegative Tiere handelt
positiver prädiktiver Wert	$a / (a + b) * 100$	Prozentuale Wahrscheinlichkeit, dass es sich um hirnstammpositive Tiere handelt, wenn das Reiztestergebnis positiv ausfällt
negativer prädiktiver Wert	$d / (c + d) * 100$	Prozentuale Wahrscheinlichkeit, dass es sich um hirnstammnegative Tiere handelt, wenn das Reiztestergebnis negativ ausfällt

a = n richtig positiv, b = n falsch positiv, c = n falsch negativ, d = n richtig negativ

Da es sich bei den metrischen Daten zumeist um keine Normalverteilungen handelte, und in einigen Fällen Ausreißer feststellbar waren, wurde als mittlerer Wert der Median (\tilde{x}) gewählt. Als Streuungsmaß diente hierbei der Interquartilsabstand (IQR), errechnet aus der Differenz der Quartile $Q_{.75}$ und $Q_{.25}$. Des Weiteren sind in einer Übersichtstabelle im Anhang die errechneten Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Zur graphischen Darstellung der metrischen Daten wurden mittels der Software JMP® 11 Box Plots erstellt. Die mittlere Hälfte der Daten befindet sich hierbei innerhalb der jeweiligen Box. Die Linie in jeder Box stellt den Median dar. Die seitlich der Box herausragende horizontal verlaufende Linie entspricht dem arithmetischen Mittel der jeweiligen Daten. Je nach Interquartilsabstand ergaben sich die sogenannten Whisker pro Box bis zum maximal 1,5 fachen des Interquartilsabstandes. Einzelwerte, die außerhalb der so berechneten Whisker lagen, wurden durch Punkte markiert.

4 Ergebnisse

4.1 Vorversuch: Reizung mittels Heißwasser, Kaltwasser und Strom

Im Vorversuch wurden drei ausgewählte Reize, die in der Orientierungsphase vielversprechend erschienen, näher untersucht. Es handelte sich um die Reize „Heißwasser“, „Kaltwasser“ und „Strom“. Insgesamt wurden im Vorversuch 1.770 Mastschweine untersucht.

Entscheidend bei der Bewertung eines Testverfahrens sind unter anderem die Spezifität, Sensitivität und der positive und negative prädiktive Wert. Mit Hilfe einer Vier-Felder-Tafel, dargestellt in Tab. 6, wurden die genannten Bewertungs-Parameter errechnet.

Tab. 7 zeigt die Ergebnisse mit den jeweiligen Konfidenzintervallen.

- **Heißwasser:** Sieben von sieben Schweinen, die laut Gehirnnerven-Untersuchung als hirnstammpositiv identifiziert wurden, hatten sich während der Heißwasserapplikation erkennbar bewegt. Die Sensitivität des Reizes „Heißwasser“ lag im Vorversuch demnach bei 100 %. Sechs von 507 untersuchten Schweinen waren im Reiztest als falsch positiv aufgefallen. Für die Spezifität des Heißwasser-Reizes errechnete sich folglich ein Wert von 99 %. Der positive prädiktive Wert gibt die relative Anzahl der Schweine an, die sich auf den Reiz hin bewegten und gleichzeitig in der Gehirnnerven-Untersuchung als positiv identifiziert wurden. Er betrug beim Reiz „Heißwasser“ im Vorversuch 54 %. Sechs von 13 reizpositiven Schweinen wiesen einen positiven Gehirnnerven-Befund auf. Der negative prädiktive Wert, der angibt, wie viele reiznegative Schweine auch hinterher hirnstammnegativ beurteilt werden, erbrachte einen Wert von 100 %. Keines der 501 reiznegativen Schweine reagierte auf die Gehirnnerven-Untersuchung.
- **Kaltwasser:** Auf den Reiz des kalten Wassers hin bewegten sich 13 von 19 hirnstammpositiven Tieren, was einer Sensitivität von 68 % entspricht. Die Spezifität des Reizes „Kaltwasser“ war mit 97 % etwas geringer als die des Reizes „Heißwasser“. Der positive prädiktive Wert betrug 45 %. Der negative prädiktive Wert lag bei 99 %. Es waren jedoch keine statistisch relevanten Unterschiede zwischen den Reizen „Kaltwasser“ und „Heißwasser“ ermittelbar ($p_{HW/KW} > 0,05$).
- **Strom:** Während des Strom-Reizes zeigten 17 von 23 Schweinen, die kurz darauf einen positiven Gehirnnerven-Befund aufwiesen, eine Bewegung auf den Reiz. So errechnet sich eine Sensitivität von 74 %. Diese lag prozentual zwischen den Ergebnissen der Reize „Heißwasser“ und „Kaltwasser“. Die Spezifität wies einen Wert von 99 % auf. Der positive prädiktive Wert lag bei 71 %, der negative prädiktive Wert bei 99 %. Statistisch waren in den Bewertungsparametern jedoch keine Unterschiede zwischen den Reizen „Strom“ und „Heißwasser“ ($p_{ST/HW} > 0,05$), sowie „Strom“ und „Kaltwasser“ ($p_{ST/KW} > 0,05$) ermittelbar.

Die Resultate des Reizes „Kaltwasser“ wiesen im Vergleich zu den anderen zwei Reizmethoden nicht nur bei der Sensitivität, sondern auch bei der Spezifität die vergleichsweise schlechtesten Werte auf. Der Reiz „Kaltwasser“ wurde aufgrund dessen nicht weiter untersucht. Das Reizsystem

mit Strom hatte bei der Spezifität im Vergleich zum Reiz „Heißwasser“ das gleiche prozentuale Ergebnis. Der Strom-Reiz wurde aufgrund der augenscheinlich niedrigeren Sensitivität nicht weiter verfolgt. Der Reiz „Heißwasser“ wies den gleichen Wert bezüglich Spezifität wie Strom auf, zeigte jedoch in der Beurteilung der Sensitivität das erfolversprechendste Ergebnis. Die Analysen im Vorversuch führten dazu, dass das Reizsystem „Heißwasser“ für die folgenden umfangreichen Untersuchungen im Hauptversuch präferiert wurde, unter anderem auch deswegen, weil es in vorangegangenen Untersuchungen bereits erfolgreich im Einsatz gewesen war (TROEGER und MEILER 2006).

Tab. 6: Vier-Felder Tafel der Reize "Heißwasser", "Kaltwasser" und "Strom" im Vorversuch

Reiz-Befund	Gehirnnerven-Befund								Zeilensumme		
	positiv:	HW	KW	ST	negativ:	HW	KW	ST	HW	KW	ST
positiv	richtig pos.:	7	13	17	falsch pos.:	6	16	7	13	29	24
negativ	falsch neg.:	0	6	6	richtig neg.:	501	559	632	501	565	638
Spaltensumme		7	19	23		507	575	639			

HW = Heißwasser, KW = Kaltwasser, ST = Strom; pos. = positiv, neg. = negativ

Tab. 7: Bewertungsparameter für die Reize „Heißwasser“, „Kaltwasser“ und „Strom“ im Vorversuch

	Heißwasser		Kaltwasser		Strom	
	% (95 % CI)		% (95 % CI)		% (95 % CI)	
Sensitivität	100,0	(58,9 - 100,0)	68,4	(43,5 - 87,4)	73,91	(51,6 - 89,7)
Spezifität	98,8	(97,4 - 99,6)	97,2	(95,5 - 98,4)	98,90	(97,8 - 99,7)
positiver prädiktiver Wert	53,9	(25,2 - 80,7)	44,8	(26,5 - 64,3)	70,83	(48,9 - 87,3)
negative prädiktiver Wert	100,0	(99,3 - 100,0)	98,9	(97,7 - 99,6)	99,06	(98,0 - 99,7)

CI = Konfidenzintervall

4.2 Hauptversuch: Reizapplikation mittels Heißwasser

Im Hauptversuch wurde der Heißwasser-Reiz-Test als automatisierte Methode an 5.301 Mastschweinen in drei kommerziellen Schlachthöfen in Deutschland untersucht. Jeder Betrieb arbeitete im Untersuchungszeitraum mit einem unterschiedlichen Elektrobetäubungsverfahren, siehe Tab. 22 im Anhang. Neben der allgemeinen Bewertung der Funktionalität der Reisanlagen wurde eine Analyse der beobachteten Bewegungsmuster bzw. Reaktionen der Mastschweine auf den Schmerzreiz hin durchgeführt. Auch konnten Spontanbewegungen der Tiere auf der Nachentblutestrecke – vor Erreichen der Reisanlage – beobachtet und analysiert werden. In Schlachthof B wurde außerdem auf Reaktionen der Tiere beim Anschlingen geachtet und das Vorkommen von elektrischer Nachbetäubung in Zusammenhang mit den Ergebnissen aus dem Versuchsbereich der Reizapplikation gebracht. Mit Hilfe aller gesammelten Daten konnten schlussendlich praxistaugliche Arbeitsanweisungen für die Durchführung der „Todeskontrolle“ am Schlachthof erstellt werden.

4.2.1 Vorkommen von Bewegung während der Heißwasser-Reizapplikation

Durchschnittlich zeigten in allen Untersuchungen des Hauptversuches **3,8 %** ($n = 199$) der Mastschweine während der Heißwasser-Reizapplikation eine erkennbare Bewegung. Statistische Unterschiede konnten hierbei zwischen den drei aufgesuchten Betrieben ermittelt werden. In Schlachthof B, während des Versuches mit der Reizapplikations-Dauer von 15 Sekunden, wurden mehr Tiere mit Reaktionen auf den Reiz dokumentiert als in Schlachthof A ($p < 0,01$). Fasst man in Schlachthof B die beiden Versuchsvarianten mit unterschiedlicher Reizdauer zusammen, unterschieden sich Schlachthof A von B statistisch noch eindeutiger ($p < 0,001$). Wertet man die niedrige Datenmenge von 268 untersuchten Tieren in Schlachthof C aus, war das Auftreten von Reaktionen dieser Schweine gegenüber denen von Schlachthof A oder B statistisch deutlich seltener ($p_{SH A/C} < 0,01$; $p_{SH B/C} < 0,001$). Tab. 8 zeigt das beobachtete Vorkommen von reizinduzierten Bewegungen der Schweine je nach Schlachthof und Reizapplikations-Dauer.

Tab. 8: Schweine entweder mit oder ohne Bewegung im Heißwasser-Reiz

	SH A	SH B	SH B1¹	SH C	Gesamt
n untersucht	2261	1493	1279	268	5301
keine Bewegung im Reiz	2198 (97,2 %)	1421 (95,2 %)	1216 (95,1 %)	267 (99,6 %)	5102 (96,2 %)
Bewegung im Reiz	63 (2,8 %)	72 (4,8 %)	63 (4,9 %)	1 (0,4 %)	199 (3,8 %)

¹ Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“; SH = Schlachthof

In **Schlachthof A** zeigten im Hauptversuch insgesamt 2,8 % ($n = 63$) der Schweine während der Reizapplikation eine erkennbare Bewegung. Zwischen den einzelnen Untersuchungstagen (US-Tagen) ergaben sich jedoch voneinander abweichende Ergebnisse, ersichtlich in Abb. 17. Am ersten US-Tag zeigten 0,6 % ($n = 5$), am zweiten US-Tag 3,5 % ($n = 42$) und am dritten US-Tag 5,6 % ($n = 16$) der untersuchten Tiere eine Bewegung auf den Schmerzreiz. Diskrepanzen waren zwischen US-Tag 1 und den Tagen 2 und 3 ($p_{d 1/2} < 0,001$; $p_{d 1/3} < 0,001$) ermittelbar. Mit einer statistisch gesehen gleichen Häufigkeit wurden an den US-Tagen 2 und 3 während der Reizapplikation Reaktionen der Schweine dokumentiert ($p_{d 2/3} > 0,05$).

In **Schlachthof B** zeigten während des länger anhaltenden Reizes 4,8 % ($n = 72$) der Schweine, während des kürzeren Stimulus 4,9 % ($n = 63$) eine erkennbare Reaktion. Es war kein statistischer Unterschied hinsichtlich des Vorkommens von Bewegungen zwischen der Reizdauer von 15 bzw. fünf Sekunden feststellbar ($p > 0,05$). Unterschiedliche Ergebnisse innerhalb der einzelnen Untersuchungstage zeigten sich jedoch auch an diesem Betrieb, ebenfalls dargestellt in Abb. 17. Am ersten US-Tag des Hauptversuches wiesen 0,7 % ($n = 3$), am zweiten US-Tag 3,1 % ($n = 13$) und am dritten US-Tag 8,8 % ($n = 56$) der untersuchten Schweine eine Bewegung auf den Schmerzreiz auf. Die Ergebnisse unterschieden sich auch statistisch an allen drei Tagen ($p_{d 1/2} < 0,05$; $p_{d 1/3} < 0,001$; $p_{d 2/3} < 0,001$). Während der zwei US-Tage der Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“ zeigten am ersten Tag 5,2 % ($n = 48$) und am zweiten Tag 4,1 % ($n = 15$) der beobachteten Tiere erkennbare Reaktionen. Es errechnete sich hierbei kein statistisch relevanter Unterschied ($p_{d 4/5} > 0,05$).

In **Schlachthof C** zeigte während der zehn Untersuchungstage von insgesamt 268 Tieren nur ein Schwein eine erkennbare Bewegung auf den Heißwasser-Reiz. Hierdurch errechnete sich ein relativer Anteil von 0,4 % ($n = 1$) reizpositiver Schweine während des Versuchszeitraumes, ebenfalls dargestellt in Abb. 17. Es handelte sich um den vierten Untersuchungstag, an dem insgesamt 32 Mastschweine untersucht worden waren. Das Tier war eine halbe Minute vor der Reizapplikation aufgrund von zielgerichteten Spontanbewegungen mittels Bolzenschussbetäubung durch das Schlachthofpersonal nachbetäubt bzw. getötet worden.

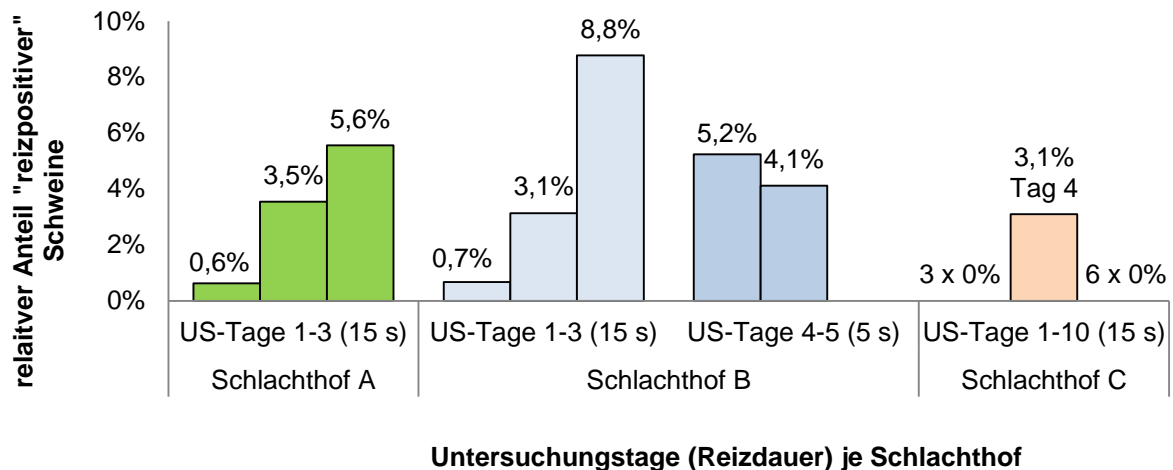


Abb. 17: Relativer Anteil an Schweinen mit erkennbaren Bewegungen auf den Heißwasser-Reiz der Schlachthöfe A, B und C pro Untersuchungstag; $n_{SH A} = 63$, $n_{SH B} = 135$, $n_{SH C} = 1$

Reizapplikationsdauer in Klammern

(US-Tage = Untersuchungs-Tage, s = Sekunde, SH = Schlachthof)

4.2.2 Befunde der Gehirnnerven-Untersuchung

Ungeachtet ihrer evtl. vorherigen Reaktionen während der Heißwasser-Reizapplikation reagierten 75 der 5.301 untersuchten Mastschweine auf mindestens einen Test der Gehirnnerven-Untersuchung. Durchschnittlich betrug in den Untersuchungen des Hauptversuches der relative Anteil hirnstammpositiver Mastschweine am Ende der Nachentblutestrecke **1,4 %** ($n = 75$). Zwischen Schlachthof A und B waren hierbei keine statistisch bedeutsamen Unterschiede feststellbar ($p_{SH A/B} > 0,05$). In Schlachthof C trat kein Schwein mit positivem Gehirnnerven-Befund auf. Ein Unterschied zwischen Schlachthof C und den Schlachthöfen A und B war errechenbar ($p_{SH A/C} < 0,05$; $p_{SH B/C} < 0,01$), muss jedoch aufgrund der unterschiedlichen Datenmengen der drei Betriebe vorsichtig interpretiert werden. Tab. 9 zeigt die Summen und relativen Anteile der Schweine mit positiven bzw. negativen Gehirnnerven-Befunden je Schlachthof.

Tab. 9: Schweine entweder mit negativem oder positivem Gehirnnerven-Befund im Hauptversuch

	SH A	SH B	SH B1¹	SH C	Gesamt
n untersucht	2261	1493	1279	268	5301
negativ	2226 (98,5 %)	1470 (98,5 %)	1262 (98,7 %)	268 (100 %)	5226 (98,6 %)
positiv ²	35 (1,5 %)	23 (1,5 %)	17 (1,3 %)	0 (0 %)	75 (1,4 %)

¹ Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“

² Anzahl der Schweine mit einfach oder doppelt positivem Gehirnnerven-Befund

SH = Schlachthof

In **Schlachthof A** wiesen an den drei Untersuchungstagen des Hauptversuches insgesamt 1,5 % (n = 35) der Schweine mindestens einen positiven Befund in der Gehirnnerven-Untersuchung auf. 74 % (n = 26) der untersuchten Tiere wurden mit einem positiven „Nasenscheidewandtest“ und 54 % (n = 19) mit einem positiven „Augentest“ notiert. Bei genauerer Differenzierung stellte sich heraus, dass 46 % (n = 16) der Schweine ausschließlich einen positiven Befund im „Nasenscheidewandtest“ bzw. 26 % (n = 9) ausschließlich im „Augentest“ aufwiesen. 28 % (n = 10) der Tiere zeigten demnach einen doppelt positiven Befund, da sie sowohl im „Augentest“ wie auch im „Nasenscheidewandtest“ mit einer entsprechenden Reaktion dokumentiert worden wurden. Zwischen den einzelnen Untersuchungstagen unterschied sich der Anteil der Schweine mit positiven Gehirnnerven-Befunden teilweise. Am ersten US-Tag wiesen 0,3 % (n = 2), am zweiten US-Tag 2,0 % (n = 24) und am dritten US-Tag 3,1 % (n = 9) der untersuchten Schweine einen positiven Gehirnnerven-Befund auf. Statistisch gesehen wurden am US-Tag 1 seltener Tiere mit positiven Gehirnnerven-Befunden diagnostiziert, als an den Tagen 2 oder 3 ($p_{d\ 1/2} < 0,001$; $p_{d\ 1/3} < 0,001$). An den zwei letztgenannten US-Tagen war kein statistischer Unterschied errechenbar ($p_{d\ 2/3} > 0,05$). Abb. 18 zeigt die genannten Ergebnisse.

In **Schlachthof B** wiesen an den ersten drei Untersuchungstagen ebenfalls 1,5 % (n = 23) der Schweine positive Gehirnnerven-Befunde auf. An den zwei folgenden Tagen, an denen die Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“ durchgeführt wurde, waren 1,3 % (n = 17) der Tiere mit positiven Gehirnnerven-Befunden diagnostiziert worden. Demnach wurden in Schlachthof B während der fünf Untersuchungstage im Schnitt 1,4 % (n = 40) der Mastschweine mit mindestens einem positiven Befund in der Gehirnnerven-Untersuchung dokumentiert. 85 % (n = 34) dieser hirnstammpositiven Schweine hatten auf den „Nasenscheidewandtest“ und 83 % (n = 33) auf den „Augentest“ reagiert. Bei genauerer Differenzierung der Befunde fiel auf, dass in Schlachthof B besonders häufig, nämlich in 66 % (n = 27) der Fälle, Schweine mit einem doppelt positiven Gehirnnerven-Befund festgestellt wurden. 18 % (n = 7) der hirnstammpositiven Tiere wiesen ausschließlich einen positiven Befund im „Nasenscheidewandtest“ und weitere 15 % (n = 6) ausschließlich im „Augentest“ auf. Unterschiede zwischen den Untersuchungstagen wurden auch in Schlachthof B festgestellt. Am ersten US-Tag wurden bei 0 % (n = 0), am zweiten US-Tag bei 1,4 % (n = 6), am dritten US-Tag bei 2,7 % (n = 17), am vierten US-Tag bei 1,5 % (n = 14) und am fünften US-Tag bei 0,8 % (n = 3) der untersuchten Schweine ein positiver Gehirnnerven-Befund dokumentiert. Das Vorkommen jenes relativen Anteiles des Untersuchungstages 1 war zu den Tagen 2, 3 und 4 deutlich niedriger ($p_{d\ 1/3} < 0,01$; $p_{d\ 1/3} < 0,001$, $p_{d\ 1/3} < 0,01$). In den restlichen Vergleichen der Untersuchungstage traten keine statistisch relevanten Unterschiede auf ($p > 0,05$). Ersichtlich sind die genannten Ergebnisse ebenfalls in Abb. 18.

An keinem der zehn Untersuchungstage in **Schlachthof C** wurden Schweine diagnostiziert, die am Ende der Nachentblutestrecke noch einen positiven Gehirnnerven-Befund aufwiesen. Das Ergebnis ist ebenfalls in Abb. 18 dargestellt.

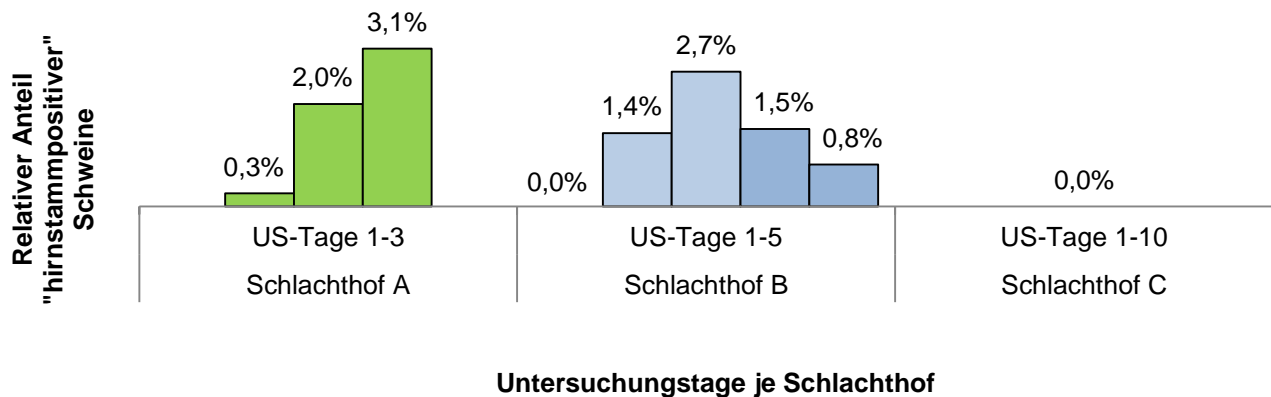


Abb.18: Relativer Anteil hirnstammpositiver Schweine am Ende der Nachentblutestrecke, der Schlachthöfe A, B und C pro Untersuchungstag; $n_{SH A} = 35$, $n_{SH B} = 40$, $n_{SH C} = 0$
*Balken der zwei Versuchsreihen in Schlachthof B sind hell- (15 Sekunden Reizapplikations-Dauer) bzw. dunkelblau (5 Sekunden Reizapplikations-Dauer) hinterlegt;
 (US-Tage = Untersuchungstage, SH = Schlachthof)*

4.2.3 Gehirnnerven-Befunde der Schweinen in Korrelation mit Reaktionen auf den Heißwasser-Reiz

1,4 % ($n = 74$) der untersuchten Mastschweine hatten sowohl auf den Schmerzreiz, als auch auf die anschließende Gehirnnerven-Untersuchung reagiert. Jedoch, bei der Berechnung des Anteils hirnstammpositiver Schweine innerhalb der Tiere, die vorher auf den Reiz reagiert hatten, ergab sich, dass über die Hälfte dieser schmerzreizpositiven Tiere keinen positiven Gehirnnerven-Befund aufwiesen. Diese Berechnung liefert den positiven prädiktiven Wert des Reiztestverfahrens, ein Bewertungsparameter, der in Kapitel 4.2.13 näher erläutert wird. In Schlachthof A reagierten 54 % ($n = 34$) der reizpositiven Schweine auch auf die Gehirnnerven-Untersuchung. Dies ergibt einen höheren relativen Anteil als in Schlachthof B ($p < 0,01$). Hier waren 32 % ($n = 23$) der reizpositiven Schweine im ersten Versuch mit der Reizapplikations-Dauer von 15 Sekunden bzw. 27 % ($n = 17$) in der Versuchsvariante mit fünf Sekunden Reizapplikations-Dauer als hirnstammpositiv diagnostiziert worden. Unter den Versuchen zur unterschiedlichen Reizdauer in Schlachthof B waren die prozentualen Unterschiede statistisch nicht verschieden ($p > 0,05$). Die Berechnung eines statistisch abgesicherten Unterschieds zwischen den Schlachthöfen A und B zu Schlachthof C erschien aufgrund der geringen Datenmenge von Schlachthof C als nicht sinnvoll. Tab. 10 zeigt die genannten Ergebnisse.

Tab. 10: Ergebnisse der Gehirnnerven-Untersuchung bei reizpositiven Schweinen

	SH A	SH B	SH B1 ¹	SH C	Gesamt
n reizpositiv	63	72	63	1	199
Gehirnnerven-Befund negativ	29 (46 %)	49 (68 %)	46 (73 %)	1 (100 %)	125 (63 %)
Gehirnnerven-Befund positiv	34 (54 %)	23 (32 %)	17 (27 %)	0 (0 %)	74 (37 %)

¹ Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“; SH = Schlachthof

Insgesamt hatten 199 Mastschweine auf den Heißwasser-Reiz reagiert. 30 % (n = 60) der reizpositiven Schweine wiesen kurz danach einen positiven „Nasenscheidewandtest“ auf. 26 % (n = 51) der reizpositiven Tiere reagierten auf den „Augentest“. Genauer differenziert zeigten 11 % (n = 23) der reizpositiven Schweine ausschließlich auf den „Nasenscheidewandtest“ und 7 % (n = 14) ausschließlich auf den „Augentest“ eine positive Reaktion. Demnach wiesen 19 % (n = 37) der Tiere, die sich auf den Heißwasser-Reiz hin bewegt hatten, einen doppelt positiven Gehirnnerven-Befund auf.

74 Schweine hatten sowohl auf den Reiz, als auch auf die Tests der Gehirnnerven-Untersuchung reagiert. Bei Betrachtung ausschließlich dieser Tiere, zeigten 81 % (n = 60) eine positive Reaktion auf den „Nasenscheidewandtest“ und zu 69 % (n = 51) auf den „Augentest“. Genauer differenziert wiesen 50 % (n = 37) der reiz- und hirnstammpositiven Schweine einen doppelt positiven Gehirnnerven-Befund, 31 % (n = 23) ausschließlich einen positiven „Nasenscheidewandtest“ und 19 % (n = 14) ausschließlich einen positiven „Augentest“ auf. Abb. 19 stellt die genannten Ergebnisse graphisch dar.

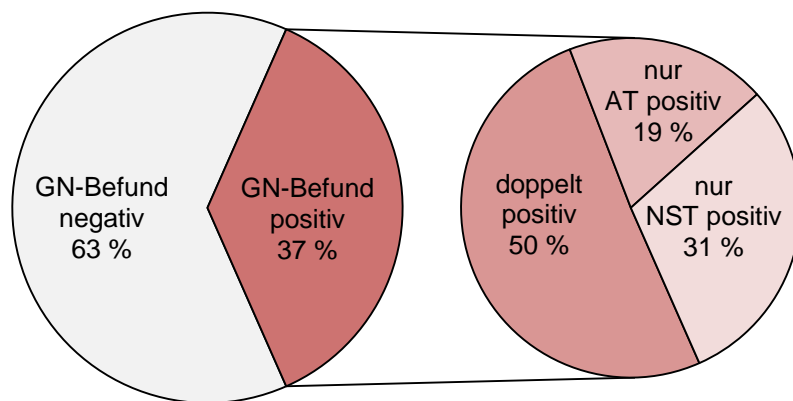


Abb. 19: Befunde der Gehirnnerven-Untersuchung von Schweinen mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz;

$n_{\text{reiz-} + \text{GN-positiv}} = 74$; $n_{\text{reizpositiv} + \text{GN-negativ}} = 125$

(GN = Gehirnnerven, AT = Augentest, NST = Nasenscheidewandtest)

4.2.4 Erkennbarkeit der Bewegungen während der Heißwasser-Reizapplikation

Für die Entwicklung des automatisierten Detektionsverfahrens war das Ausmaß der gezeigten Reaktionen der Schweine auf den Reiz „Heißwasser“ hin wichtig. Zunächst werden die 74 Schweine näher betrachtet, die sowohl auf den Reiz, als auch auf die Gehirnnerven-Untersuchung reagiert hatten. Durchschnittlich 86 % (n = 64) der hirnstammpositiven Schweine hatten sich derart

heftig bewegt, dass sie für die Untersucher einfach zu erkennen waren. 14 % (n = 10) der sich bewegenden und hirnstammpositiven Schweine waren demnach nur durch intensive Beobachtung wahrzunehmen.

Die Auswertung der Daten zeigte, dass in Schlachthof A 91 % (n = 31) und in Schlachthof B 83 % (n = 33) der hirnstammpositiven Tiere während der Reizapplikation eine derart heftige Reaktion zeigten, dass sie für die Untersucher leicht zu erkennen waren. Demnach waren in Schlachthof A 9 % (n = 3) und in Schlachthof B 18 % (n = 7) jener reagierender Schweine nur schwer zu detektieren. Statistische Unterschiede zwischen den Schlachthöfen A und B und innerhalb der zwei Versuchsvarianten in Betrieb B waren nicht zu ermitteln ($p > 0,05$). In Schlachthof C wies das eine sich auf den Reiz hin bewegendes Tier keinen positiven Gehirnnerven-Befund auf, weshalb der Betrieb aus der hier angesprochenen Betrachtung heraus fällt. Der Tab. 11 können die genannten Ergebnisse entnommen werden.

Tab. 11: Erkennbarkeit der Reaktionen von hirnstammpositiven Schweinen während der Heißwasser-Reizapplikation

	SH A	SH B	SH B1 ¹	SH C	Gesamt
n reiz- und hirnstammpositiv	34	23	17	0	74
leicht erkennbar	31 (91 %)	18 (78 %)	15 (88 %)	-	64 (86 %)
schwer erkennbar	3 (9 %)	5 (22 %)	2 (12 %)	-	10 (14 %)

¹ Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“; SH = Schlachthof

Im Vergleich zu den genannten Befunden wurden die Ergebnisse zur Erkennbarkeit der Reaktionen der Schweine, die kurz nach Reizapplikation einen negativen Gehirnnerven-Befund aufwiesen, näher betrachtet. Lediglich 57 % (n = 54) der hirnstammnegativen Mastschweine hatten leicht erkennbare Bewegungen während der Reizapplikation gezeigt. 43 % (n = 54) der Tiere mit negativem Gehirnnerven-Befund zeigten dagegen Reaktionen, die den Untersuchern nur bei sehr genauer Betrachtung aufgefallen waren. Die genannten Ergebnisse inklusive die Unterteilung in die drei Schlachtbetriebe sind in Tab. 12 dargestellt.

Tab. 12: Erkennbarkeit der Reaktionen von hirnstammnegativen Schweinen während der Heißwasser-Reizapplikation

	SH A	SH B	SH B1 ¹	SH C	Gesamt
n reiz-pos., hirnstamm-neg.	29	49	46	1	125
leicht erkennbar	13 (45 %)	31 (63 %)	26 (57 %)	1 (100 %)	71 (57 %)
schwer erkennbar	16 (55 %)	18 (37 %)	20 (43 %)	0 00(0 %)	54 (43 %)

¹ Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“;
SH = Schlachthof, pos. = positiv, neg. = negativ

Die statistische Berechnung ergab, dass Schweine mit positiven Gehirnnerven-Befunden häufiger heftige und somit leicht erkennbare Reaktionen auf den Heißwasser-Reiz zeigten, als hirnstammnegative Tiere ($p < 0,001$).

4.2.5 Neugestaltung des Auswerteschemas der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation

Nicht nur auf das Vorkommen bzw. Nicht-Vorkommen von Reaktionen während der Reizapplikation wurde geachtet, sondern es wurden auch die Bewegungsmuster der reagierenden Schweine näher analysiert. Wie in Kapitel 3.4.4 beschrieben, wurden vor Beginn der Untersuchungen acht verschiedene Muster möglicher Reaktionen definiert. Während der Auswertung des Vorversuches wurde versucht jene reizinduzierte Reaktion eines Schweines nach diesen definierten Bewegungsmuster einzuteilen. Es stellte sich hierbei jedoch heraus, dass sie teilweise nicht anzuwenden waren. Auf Basis der ausgewerteten Reaktionen der Schweine im Vorversuch während der Reizapplikation mit heißem Wasser (Daten nicht dargestellt) wurde beschlossen einige der ursprünglich definierten Bewegungen neu zu bezeichnen oder aus der Analyse auszuschließen.

- **„Atmungsbewegungen“:** Auf der Nachentblutestrecke war es während der Beobachtung der Schweine nicht möglich Atmungsbewegungen als solche sicher zu erkennen. Zwischen einer physiologischen Atmung, einem Luftschnappen, das auch bei Schweinen mit noch vorhandenem Sensorium beobachtet werden kann, und einer rudimentären Atemreflexbewegung, die während der Agonie auftritt, konnte nicht eindeutig unterschieden werden. Aufgrund dessen wurde im Hauptversuch lediglich darauf geachtet, ob sich die Mäuler der Tiere auf irgendeine Weise öffneten oder nicht. Unabhängig von der Ausprägung wurde im entsprechenden Fall das Bewegungsmuster „Maul öffnen“ notiert.
- **„Vokalisation“:** „Vokalisation“ wurde aus der Dokumentation ebenfalls ausgeschlossen, da sie bei elektrisch betäubten Mastschweinen, sowohl im Vor- wie im Hauptversuch nie dokumentiert werden konnte. Bei den untersuchten CO₂-betäubten Schweinen, die in der Dissertation von Schreiber (2016) beschrieben werden, konnte Vokalisation während der Reizapplikation jedoch nachgewiesen werden.
- **„Grimassieren“ / „Lidschluss“:** So genanntes Grimassieren oder Lidschlussbewegungen konnten nur in einigen Fällen dokumentiert werden. Da aber nicht bei jedem Schwein beide Augen sicher begutachtet bzw. die gesamte Gesichtsmuskulatur uneingeschränkt beobachtet werden konnte, wurden diese Bewegungsmuster von der Auswertung ausgeschlossen.

Des Weiteren stellte sich heraus, dass einige der schlussendlich sicher analysierbaren fünf Bewegungsmuster, in den Tabellen im Anhang als sogenannte 5er Kombination bezeichnet, in verschiedene Bewegungsmuster-Unterkategorien unterteilt werden konnten.

- **„Aufrichteversuche“:** Das Muster „Aufrichteversuche“ konnte unterteilt werden in: „Hochziehen Kopf/Nacken“ und „Tonisch dorsales Strecken“. „Hochziehen Kopf/Nacken“ beinhaltete alle seitlichen, ventralen oder kurzen dorsalen Aufrichteversuche aus der Kopf- und Nackenmuskulatur heraus. „Tonisch dorsales Strecken“ hingegen war ein länger anhaltendes dorsales Strecken der Schweine primär aus der Nackenmuskulatur heraus.
- **„Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“:** Das Muster „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ konnte ebenfalls weiter differenziert werden in: „Strampelnde Vordergliedmaße“, „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“, „Beugen Karpalgelenk“ und „Tonisch gestreckte

Vordergliedmaße“. Als „Strampelnde Vordergliedmaße“ wurden Bewegungen definiert, die durch mehrmaliges An- und Entspannen der Vorderbeinmuskulatur entstehen und ein zügiges hin und her Bewegen dieser verursachen. Tonische Bewegungsmuster, wie Letztgenanntes, wurden von den reagierenden Schweinen sichtbar aktiv eingeleitet, um dann in einer tonischen Haltung, in diesem Falle in steif gestreckten Vordergliedmaßen, zu verharren.

Insgesamt konnten durch die weitere Unterteilung der Reaktionen „Aufrichteversuche“ und „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ während der Reizapplikation neun verschiedene Bewegungsmuster, in den Tabellen im Anhang als so genannte 9er Kombination bezeichnet, unterschieden werden. Abb. 20 zeigt die angepasste Einteilung der Bewegungsmuster während der Reizapplikation.

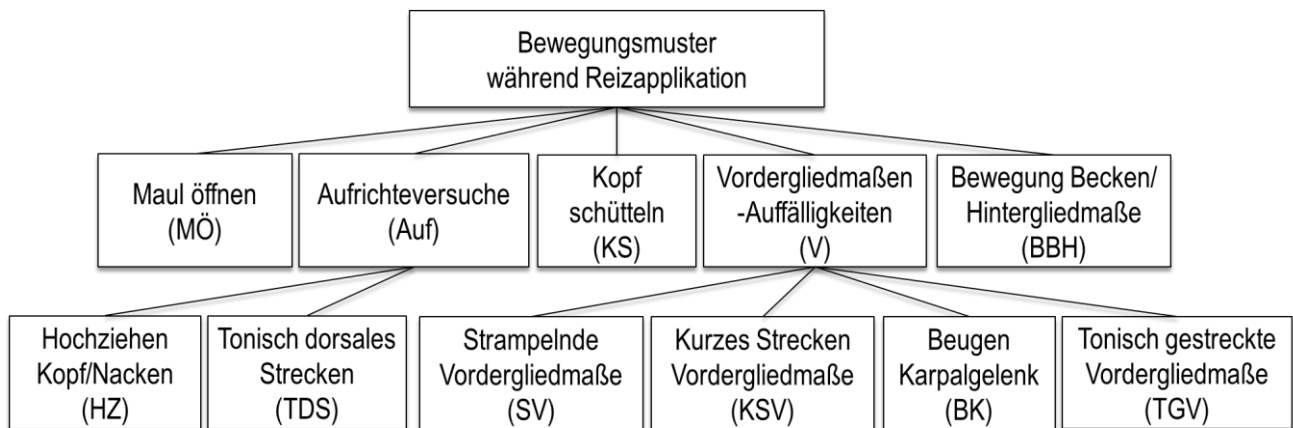


Abb. 20: Schema der Einteilung der Bewegungsmuster für die Beobachtungsanalyse während der Heißwasser-Reizapplikation

4.2.6 Vorkommen von Bewegungsmustern während der Heißwasser-Reizapplikation

Im Folgenden werden die Reaktionen der 199 sich im „Heißwasser“-Reiz bewegendes Schweine ungeachtet ihrer möglichen Bewegungsmuster-Kombinationen betrachtet. Es stellte sich hierbei heraus, dass das Muster „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ von 58 % ($n = 115$) und „Maul öffnen“ von 53 % ($n = 105$) der reagierenden Tiere gezeigt wurde. Statistisch gesehen waren beide Muster gleich häufig dokumentiert worden ($p_{V/MÖ} > 0,05$). Das Muster „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ wurde bei 42 % ($n = 84$) der reizpositiven Schweine beobachtet. Statistisch gesehen war diese Reaktion weniger häufig als die Muster „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ oder „Maul öffnen“ ($p_{BBH/V} < 0,01$; $p_{BBH/MÖ} < 0,05$) verzeichnet worden. 37 % ($n = 74$) der reagierenden Schweine zeigten eine Bewegung aus der Kategorie „Aufrichteversuche“. „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ und „Aufrichteversuche“ kamen laut statistischer Berechnung gleich häufig vor ($p_{BBH/Auf} > 0,05$). Das Bewegungsmuster „Kopf schütteln“ wurde bei 12 % ($n = 24$) der reizpositiven Tiere dokumentiert. „Kopf schütteln“ war stets seltener gezeigt worden, als alle anderen Bewegungsmuster ($p < 0,001$). Signifikante Unterschiede der relativen Häufigkeiten der Bewegungsmuster reizpositiver Mastschweine im Vergleich der Schlachtbetriebe A, B und C bzw. im Vergleich der Versuchsvarianten in Schlachthof B waren in keinem Vergleich

festzustellen ($p > 0,05$). Die Verteilung der Bewegungsmuster je Schlachthof im Hauptversuch und in der Variante „verkürzte Reizdauer“ ist der Tab. 13 zu entnehmen.

Tab. 13: Bewegungsmuster von Schweinen während der Heißwasser-Reiz-Applikation; Schlachthöfe A, B und C; nach Häufigkeit sortiert

	SH A	SH B	SH B1 ¹	SH C	Gesamt
n bewegt im Reiz	63	72	63	1	199
Vordergldm.-Auffälligkeiten	45 (71 %)	44 (61 %)	25 (40 %)	1 (100 %)	115 (58 %)
Maul öffnen	35 (56 %)	38 (53 %)	32 (51 %)	-	105 (53 %)
Bewegung Becken/Hintergldm.	23 (37 %)	28 (39 %)	33 (52 %)	-	84 (42 %)
Aufrichteversuche	28 (44 %)	26 (36 %)	20 (32 %)	-	74 (37 %)
Kopf schütteln	12 (19 %)	9 (13 %)	3 (5 %)	-	24 (12 %)

¹ Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“; SH = Schlachthof, -gldm. = -gliedmaßen

In der Analyse der Bewegungsmuster-Unterkategorien der „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ stellten sich folgende Ergebnisse heraus: „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ wurde von 75 % ($n = 86$), „Beugen Karpalgelenk“ von 34 % ($n = 39$), „Strampelnde Vordergliedmaße“ von 30 % ($n = 34$) und „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ von 29 % ($n = 33$) der reagierenden Mastschweine gezeigt, die eine Bewegungsauffälligkeit in den Vordergliedmaßen aufwiesen. Statistisch betrachtet wurde das Muster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ stets häufiger gezeigt, als die anderen drei Unterkategorien ($p < 0,001$). Zwischen den restlichen Reaktionsmustern waren keine statistischen Unterschiede in den relativen Häufigkeiten feststellbar ($p > 0,05$).

In der genaueren Auswertung des Bewegungsmusters „Aufrichteversuche“ ergaben sich folgenden Ergebnisse: Das Muster „Hochziehen Kopf/Nacken“ wurde von 93 % ($n = 71$) und das Muster „Tonisch dorsales Strecken“ von 18 % ($n = 14$) der sich aufrichtenden Schweine während der Reizapplikation gezeigt. Statistisch war hierbei deutlich häufiger das Muster „Hochziehen Kopf/Nacken“ gezeigt worden, als „Tonisch dorsales Strecken“ ($p < 0,001$).

Die Tab. 14 und 15 zeigen das Vorkommen und die relativen Häufigkeiten der Unterkategorien je Schlachthof. Da sich auch hier keinerlei signifikante Unterschiede, weder zwischen den drei Betrieben, noch zwischen den Versuchsvarianten ergaben ($p > 0,05$), wurde der Übersichtlichkeit halber in den folgenden Kapiteln der Bewegungsmusteranalyse zwischen den Schlachtbetrieben nicht weiter unterschieden.

Tab. 14: „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ von Schweinen während der Heißwasser-Reizapplikation; Schlachthöfe A, B und C; nach Häufigkeit sortiert

	SH A	SH B	SH B1 ¹	SH C	Gesamt
n	45	44	25	1	115
Kurzes Strecken Vordergliedm.	36 (80 %)	30 (68 %)	19 (76 %)	1 (100 %)	86 (75 %)
Beugen Karpalgelenk	15 (33 %)	13 (30 %)	10 (40 %)	1 (100 %)	39 (34 %)
Strampelnde Vordergliedm.	18 (40 %)	11 (24 %)	4 (16 %)	1 (100 %)	34 (30 %)
Tonisch gestreckte Vordergliedm.	7 (16 %)	17 (39 %)	8 (32 %)	1 (100 %)	33 (29 %)

¹ Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“; SH = Schlachthof, gldm. = -gliedmaße

Tab. 15: „Aufrichteversuche“ von Schweinen während der Heißwasser-Reizapplikation; Schlachthöfe A, B und C; nach Häufigkeit sortiert

	SH A	SH B	SH B1 ¹	SH C	Gesamt
n	29	27	20	0	76
Hochziehen Kopf/Nacken	26 (90 %)	25 (93 %)	20 (100 %)	-	71 (93 %)
Tonisch dorsales Strecken	4 (14 %)	8 (30 %)	2 (10 %)	-	14 (18 %)

¹ Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“; SH = Schlachthof

4.2.7 Erkennbarkeit der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation

Im Hinblick auf die Entwicklung des automatisierten Detektionsverfahrens, ist nicht nur das Auftreten per se, sondern auch das Ausmaß der gezeigten Bewegungsmuster entscheidend. Die meisten Bewegungsmuster der Mastschweine wurden deutlich, das heißt leicht erkennbar, einige jedoch teils nur sehr wenig ausgeprägt, das heißt schwer erkennbar, durchgeführt. Das Bewegungsmuster „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ war in 83 % (n = 95) der Fälle leicht, in 17 % (n = 20) nur schwer erkennbar. Ähnlich verhielt sich die Erkennbarkeit beim Bewegungsmuster „Aufrichteversuche“. Hier waren 84 % (n = 62) der Schweine leicht und 16 % (n = 12) schwer zu detektieren. „Maul öffnen“ war in 73 % (n = 77) der Fälle leicht und in 27 % (n = 28) der Fälle schwer zu erkennen. Zeigte ein Schwein „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ war diese Reaktion zu 64 % (n = 54) leicht und zu 36 % (n = 30) schwer erkennbar. Die Bewegung „Kopf schütteln“ war bei 100 % (n = 24) der Schweine leicht zu detektieren. Im Vergleich zu den anderen Mustern war dieses Letztgenannte am häufigsten leicht zu erkennen ($p_{KS/V} < 0,05$; $p_{KS/MÖ} < 0,01$; $p_{KS/BBH} < 0,001$; $p_{KS/Auf} < 0,05$). Auffällig bei der Bewegung des Beckens bzw. der Hintergliedmaße war, dass deren Erkennbarkeit deutlich häufiger schwer zu detektieren war, als es bei den meisten anderen Bewegungsmustern der Fall war ($p_{BBH/V} < 0,01$; $p_{BBH/Auf} < 0,01$; $p_{BBH/KS} < 0,001$). Außer zwischen diesem und dem Muster „Maul öffnen“ war kein statistisch relevanter Unterschied festzustellen ($p_{BBH/MÖ} > 0,05$). Weitere statistisch relevante Unterschiede zwischen den Bewegungsmustern in Bezug auf deren Erkennbarkeit waren nicht auszumachen. Abb. 21 zeigt die genannten Ergebnisse graphisch dargestellt.

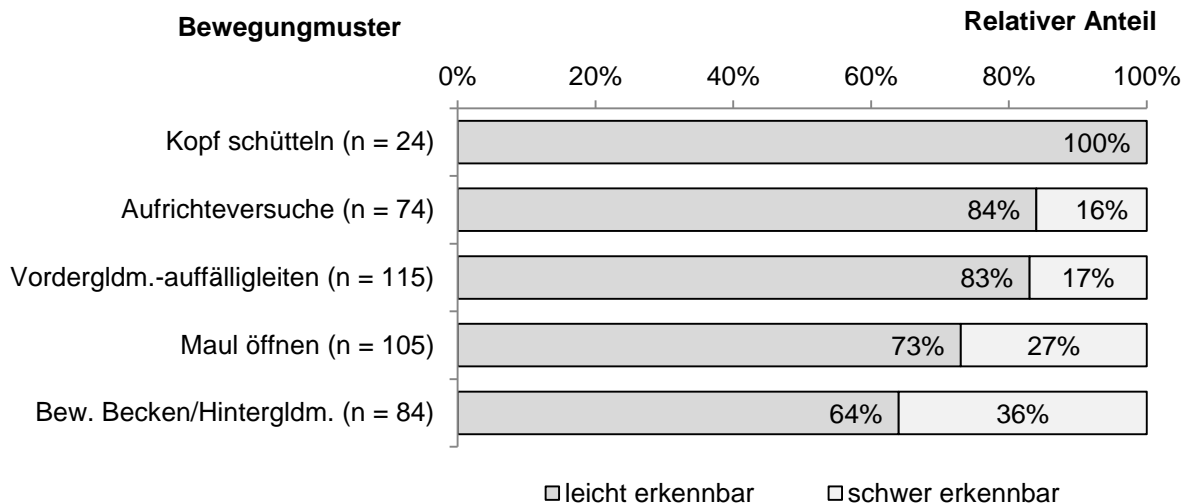


Abb. 21: Erkennbarkeit der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation;

n reizpositiv = 199

(-gliedm. = -gliedmaße, Bew. = Bewegung)

Innerhalb der oben beschriebenen Kategorien „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ und „Aufrichteversuche“ waren alle Bewegungsmuster zumeist deutlich erkennbar. Die Reaktion „Strampelnde Vordergliedmaße“ war zu 97 % (n = 33) leicht und zu 3 % (n = 1) schwer zu erfassen. Das Muster „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ war zu 91 % (n = 30) einfach, jedoch zu 9 % (n = 3) nur bei genauer Betrachtung zu detektieren. „Beugen Karpalgelenk“ war in 87 % (n = 34) der Fälle leicht und in 13 % (n = 5) der Fälle schwer zu erkennen. Das Muster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ konnte bei 83 % (n = 71) der reagierenden Tiere einfach und bei 17 % (n = 15) nur schwer erkannt werden. Statistisch relevante Unterschiede kamen bei den meisten Bewegungsmustern der Vordergliedmaßen nicht vor ($p > 0,05$). Jedoch wurden bei Schweinen mit dem Muster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ seltener eine leicht erkennbare Reaktion registriert, als bei solchen mit dem Bewegungsmuster „Strampelnde Vordergliedmaße“ ($p_{\text{KSV/SV}} < 0,05$).

Aufrichtende Bewegungen waren zumeist leicht, in einigen wenigen Fällen jedoch auch nur schwer zu erkennen. Die Bewegungsmuster-Unterkategorie „Tonisch dorsales Strecken“ war zu 93 % (n = 13) leicht und zu 7 % (n = 1) schwer zu detektieren. Das Muster „Hochziehen Kopf/Nacken“ war zu 85 % (n = 60) einfach und zu 15 % (n = 11) nur schwer zu erkennen. Statistische Unterschiede in der Erkennbarkeit der zwei aufrichtenden Bewegungsmuster waren nicht zu ermitteln ($p > 0,05$).

Abb. 22 zeigt die relativen Häufigkeiten der Kategorien „leicht erkennbar“ und „schwer erkennbar“ der zwei Bewegungsmuster-Unterkategorien.

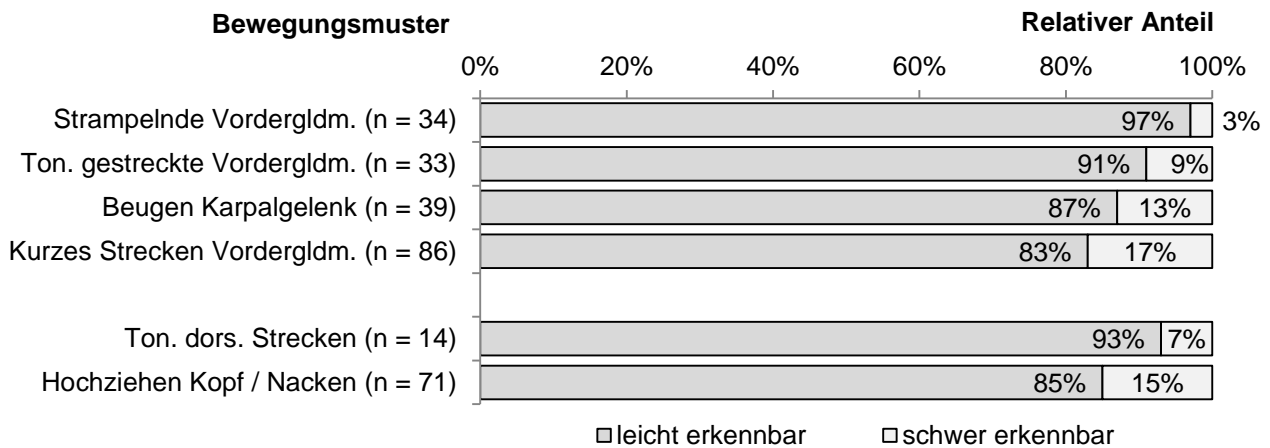


Abb. 22. Erkennbarkeit der Bewegungsmuster-Unterkategorien:
„Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ / „Aufrichteversuche“ während der Heißwasser-Reizapplikation;
n Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten = 115, n Aufrichteversuche = 74;
 (-gldm. = -gliedmaße, Ton. = Tonisch, dors. = dorsales)

4.2.8 Zusammenhang zwischen den Bewegungsmustern und den Gehirnnerven-Befunden

Um herauszufinden, welche Bewegungen bzw. Reaktionen auf den Heißwasser-Reiz eher bei den Schweinen vorkamen, die am Ende der Nachentblutestrecke nicht als hirnstammtot zu bezeichnen waren, als bei solchen, die keine Lebenszeichen mehr aufwiesen, wurden die reizinduzierten Bewegungsmuster mit den Ergebnissen der Gehirnnerven-Untersuchung korreliert. Einige der Reaktionen waren hierbei häufiger mit positiven Gehirnnerven-Befunden assoziiert als andere. Die Tab. 23 bis 26 im Anhang stellen die nun folgenden Ergebnisse zusätzlich tabellarisch dar. In Abb. 23 sind die fünf definierten Bewegungsmuster auf der Abszisse, der relative Anteil der positiven bzw. negativen Gehirnnerven-Befunde auf der Ordinate aufgetragen. Die mit Rottönen eingefärbten Balken addieren sich jeweils zum Gesamtanteil aller Schweine mit positiven Gehirnnerven-Befunden pro Bewegungsmuster.

Zeigte ein Mastschwein während der Reizapplikation das Bewegungsmuster **„Kopf schütteln“** wies es zu 92 % (n = 22) mindestens einen positiven Gehirnnerven-Befund auf. Doppelt positive Befunde zeigten hierbei 58 % (n = 14) der Tiere. Ausschließlich ein positiver „Nasenscheidewandtest“ war bei 21 % (n = 5) und ein positiver „Augentest“ bei 13 % (n = 3) der Schweine mit „Kopf schütteln“ zu verzeichnen. Bei 8 % (n = 2) jener Tiere konnten weder eine Reaktion im „Augentest“ noch im „Nasenscheidewandtest“ provoziert werden.

Das Muster **„Aufrichteversuche“** war zu 78 % (n = 58) mit einem positiven und zu 22 % (n = 16) mit einem negativen Gehirnnerven-Befund verbunden. Auch hier wiesen die meisten Tiere, nämlich 45 % (n = 33), ein doppelt positives Ergebnis in der Gehirnnerven-Untersuchung auf. Lediglich 9 % (n = 7) der Schweine mit dem Muster „Aufrichteversuche“ zeigten ausschließlich eine positive Reaktion auf den „Augentest“ und 24 % (n = 18) auf den „Nasenscheidewandtest“.

Bei den **„Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“** wiesen 59 % (n = 68) der Mastschweine einen positiven und 41 % (n = 47) einen negativen Gehirnnerven-Befund auf. Ein doppelt positiver

Gehirnnerven-Befund konnte bei 30 % (n = 35) der auf diese Weise reagierenden Schweine nachgewiesen werden. Eine ausschließlich positive Reaktion auf den „Augentest“ wurde bei 12 % (n = 14) und auf den „Nasenscheidewandtest“ bei 17 % (n = 19) der Tiere mit „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ diagnostiziert.

Lediglich 52 % (n = 42) der Tiere, die während der Reizapplikation das **Maul geöffnet** hatten, wiesen kurz danach einen positiven Gehirnnerven-Befund auf. Unterteilt in die drei möglichen Befund-Ergebnisse, waren 26 % (n = 27) dieser Tiere mit einem doppelt positiven Befund, 15 % (n = 16) mit einer ausschließlichen Reaktion auf den „Nasenscheidewandtest“ und 9 % (n = 9) mit einer ausschließlichen Reaktion auf den „Augentest“ dokumentiert worden.

Schweine, die das Bewegungsmuster „**Bewegung Becken/Hintergliedmaße**“ zeigten, wiesen zu 21 % (n = 18) einem positiven Gehirnnerven-Befund auf. Beim größten Anteil dieser Tiere, 79 % (n = 66), konnten jedoch keinerlei Reaktionen während der Gehirnnerven-Untersuchung festgestellt werden. 10 % (n = 8) der Schweine mit genanntem Bewegungsmuster wurden mit einem doppelt positiven Befund dokumentiert. 7 % (n = 6) zeigten eine Reaktion ausschließlich auf den „Nasenscheidewandtest“ und 5 % (n = 4) ausschließlich auf den „Augentest“.

Die Bewegungsmuster „Kopf schütteln“ und „Aufrichteversuche“ waren im Vergleich zu den anderen Reaktionen häufiger mit positiven als mit negativen Gehirnnerven-Befunden verbunden ($p_{KS/V} < 0,01$; $p_{KS/MÖ} < 0,001$; $p_{KS/BBH} < 0,001$; $p_{Auf/V} < 0,01$; $p_{Auf/MÖ} < 0,001$, $p_{Auf/BBH} < 0,001$). Zwischen jenen zwei Mustern trat kein statistisch relevanter Unterschied auf ($p_{KS/Auf} > 0,05$). Die Muster „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ und „Maul öffnen“ waren häufiger mit positiven als mit negativen Gehirnnerven-Befunden assoziiert als das beim Muster „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ ($p_{V/BBH} < 0,001$; $p_{MÖ/BBH} < 0,001$) der Fall war. Zwischen ihnen war jedoch kein statistischer Unterschied auszumachen ($p_{V/MÖ} > 0,05$). Folglich korrelierte in der statistischen Berechnung das Muster „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ im Vergleich zu allen anderen Reaktionen häufiger mit negativen Gehirnnerven-Befunden als mit positiven ($p < 0,001$).

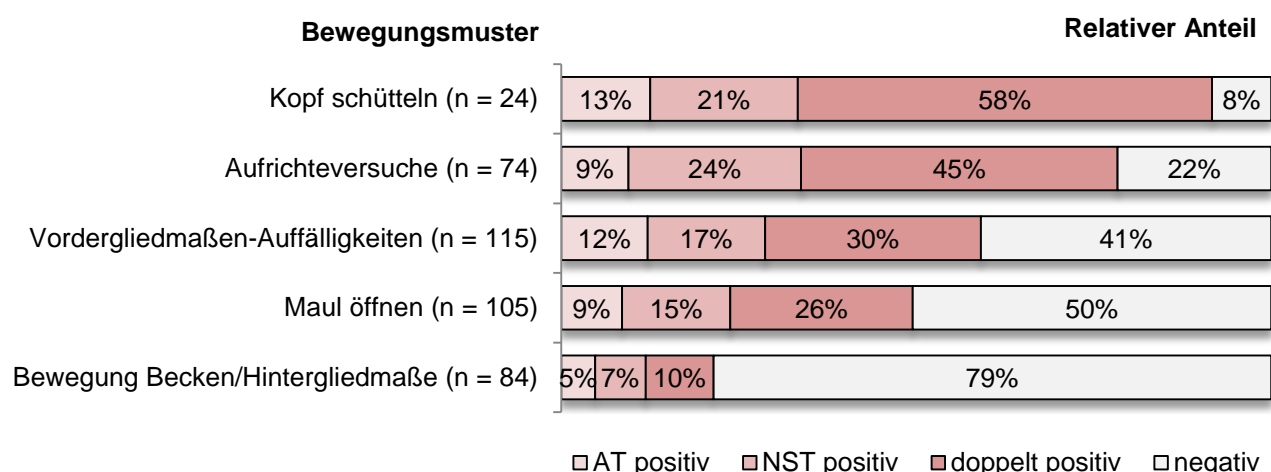


Abb. 23: Zusammenhang zwischen Bewegungsmustern und Gehirnnerven-Befunden während der Heißwasser-Reizapplikation sortiert nach Schweregrad; n_{reizpositiv} = 199

(AT = nur „Augentest“ positiv, NST = nur „Nasenscheidewandtest“ positiv, doppelt positiv = „Augentest“ und „Nasenscheidewandtest“ positiv, negativ = „Augentest“ und „Nasenscheidewandtest“ negativ)

Bei genauerer Betrachtung der Bewegungsmuster-Unterkategorien, erscheint eine Differenzierung, vor allem der Muster „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ als sinnvoll. Besonders eine Unterkategorie korrelierte hierbei mit einem wesentlich geringeren Anteil an positiven Gehirnnerven-Befunden, als die anderen. Abb. 24 stellt in gleicher Weise wie Abb. 23 die Bewegungsmuster je nach Anteil positiver bzw. negativer Gehirnnerven-Befunde dar.

In der Unterkategorie „**Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten**“ wiesen 85 % (n = 34) der Schweine mit dem Muster „Strampelnde Vordergliedmaße“ einen positiven Gehirnnerven-Befund auf. Mastschweine, die „Beugen Karpalgelenk“ zeigten, wurden in 77 % (n = 22) und solche mit dem Muster „Tonische gestreckte Vordergliedmaße“ in 67 % (n = 22) der Fälle laut Hirnstamm-Untersuchung nicht als hirnstammtot diagnostiziert. Unterschiede in der Häufigkeit positiver Gehirnnerven-Befunde zwischen diesen drei Bewegungsmustern waren nicht auszumachen ($p > 0,05$). Das Bewegungsmuster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ war hingegen weniger häufig mit positiven Gehirnnerven-Befunden verbunden, als die Muster „Strampelnde Vordergliedmaße“ und „Beugen Karpalgelenk“ ($p_{KSV/SV} < 0,05$; $p_{KSV/BK} < 0,05$). 51 % (n = 44) der Schweine mit „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ waren als hirnstammnegativ diagnostiziert worden. Ein statistischer Unterschied in Bezug auf das Vorkommen positiver bzw. negativer Gehirnnerven-Befunde zwischen Tieren mit dieser Reaktion und solchen mit dem Muster „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ war nicht auszumachen ($p_{KSV/TGV} > 0,05$).

Im Bereich der **aufrichtenden Reaktionen** wiesen Schweine mit „Tonisch dorsalem Strecken“ zu 86 % (n = 12) und solche mit „Hochziehen Kopf/Nacken“ zu 79 % (n = 56) einen positiven Gehirnnerven-Befund auf. Es waren keine statistisch relevanten Unterschiede in der Verteilung der positiven bzw. negativen Gehirnnerven-Befunde zwischen den zwei aufrichtenden Bewegungsmuster-Unterkategorien festzustellen ($p > 0,05$).

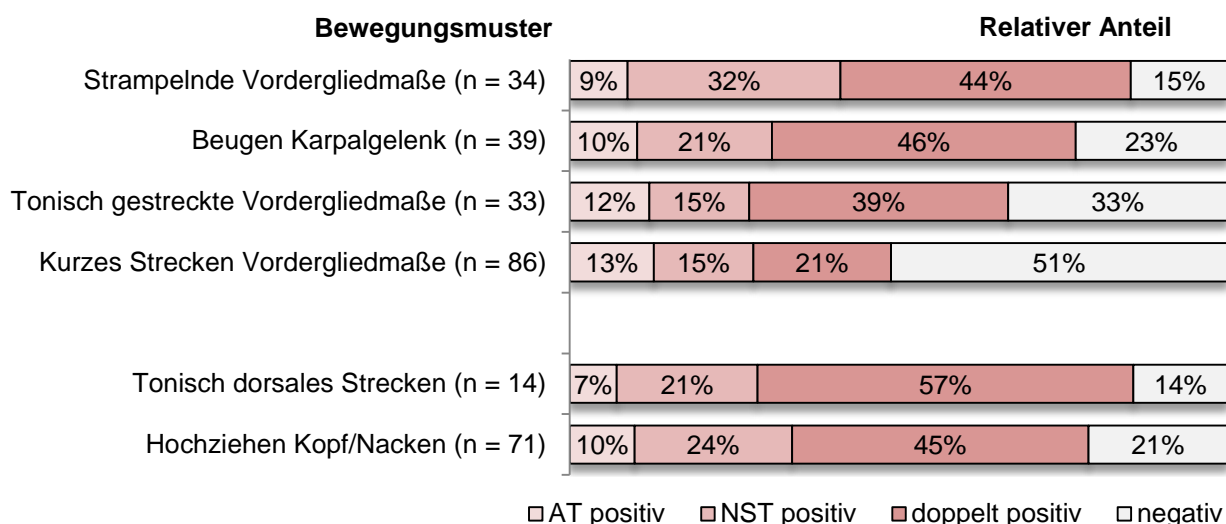


Abb. 24. Zusammenhang zwischen Bewegungsmuster-Unterkategorien und Gehirnnerven-Befunden während der Heißwasser-Reizapplikation sortiert nach Schweregrad;

n Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten = 115, n Aufrichterversuche = 74

(AT = nur „Augentest“ positiv, NST = nur „Nasenscheidewandtest“ positiv, doppelt positiv = „Augentest“ und „Nasenscheidewandtest“ positiv, negativ = „Augentest“ und „Nasenscheidewandtest“ negativ)

4.2.9 Häufigkeit der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation

Im nun folgenden Schritt der Auswertung wurde die Häufigkeit des Auftretens der jeweiligen Bewegungsmuster innerhalb der Tiergruppen, die einen positiven bzw. negativen Gehirnnerven-Befund aufwiesen, ermittelt. Um konkrete Ergebnisse direkt miteinander zu vergleichen wurde hierbei auf die Darstellung der fünf Bewegungsmuster verzichtet und direkt alle neun definierten Reaktionen miteinander verglichen.

Da in Schlachthof C kein Schwein mit positivem Gehirnnerven-Befund dokumentiert wurde, werden zunächst nur die Daten der Schlachthöfen A und B dargestellt. Auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 4.2.8, welche die Korrelation der Reaktionen zu den Gehirnnerven-Befunden darstellte, sind in Abb. 25 die Bewegungsmuster von links nach rechts ihrem Schweregrad nach sortiert. Die Höhe des jeweiligen roten Balkens impliziert die relative Häufigkeit der Beobachtung des jeweiligen Bewegungsmusters bei hirnstammpositiven Mastschweinen. Die grün bzw. blau gehaltenen Linien stellen die relativen Häufigkeiten der Bewegungsmuster je Schlachthof und den zwei Versuchsvarianten des Schlachthofes B dar.

29 % (n = 22) der insgesamt 75 hirnstammpositiven Schweine zeigten das Bewegungsmuster „Kopf schütteln“ während der Heißwasser-Reizapplikation. Bei 16 % (n = 12) wurde das Muster „Tonisch dorsales Strecken“ dokumentiert. Innerhalb der Kategorie „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ wurde das Muster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ am häufigsten, nämlich von 56 % (n = 42) der hirnstammpositiven Schweine, gezeigt. Das Muster „Beugen Karpalgelenk“ wurde bei 40 % (n = 30), „Strampelnde Vordergliedmaße“ bei 39 % (n = 29) und „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ bei 29 % (n = 22) jener Schweine beobachtet. Das Bewegungsmuster „Hochziehen Kopf/Nacken“ wurde von den meisten der hirnstammpositiven Mastschweine gezeigt. 75 % (n = 56) der eindeutig nicht als tot zu bezeichnenden Tiere führten dieses Muster während der Heißwasser-Reizapplikation durch. An zweithäufigster Stelle trat das Muster „Maul öffnen“ auf, das von 69 % (n = 52) der hirnstammpositiven Schweine gezeigt wurde. Bewegungen im Becken oder in den Hintergliedmaßen waren bei 24 % (n = 18) jener Schweine festgestellt worden. Zwischen den Schlachtbetrieben A und B und zwischen den zwei Versuchsvarianten in Schlachthof B konnten keine statistisch relevanten Unterschiede bezüglich der Häufigkeit dokumentierter Bewegungsmuster festgestellt werden ($p > 0,05$). Die genannten Ergebnisse sind in Abb. 25 dargestellt.

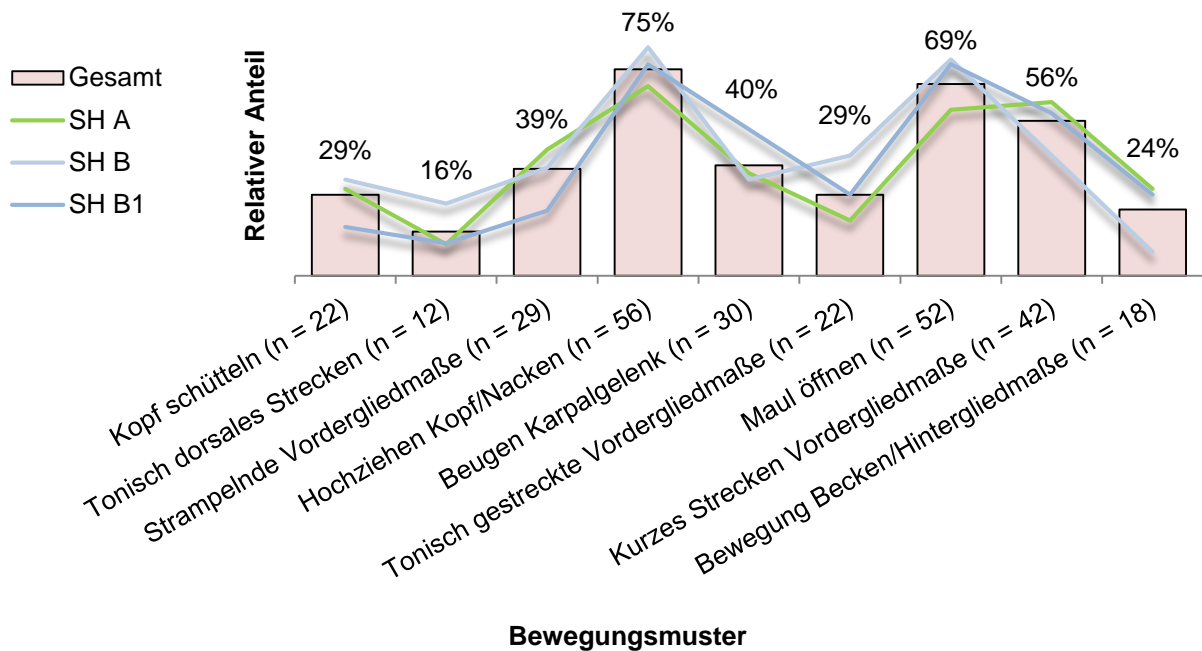


Abb. 25: Relativer Anteil der Bewegungsmuster bei Schweinen mit positivem Gehirnnerven-Befund
 (SH = Schlachthof, SH B1 = Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“)

Ebenso erfolgte der Vergleich der Bewegungsmuster innerhalb der Daten der Mastschweine, die nach der Reizapplikation mit einem negativen Gehirnnerven-Befund dokumentiert worden waren. Auch Schlachthof C konnte nun wieder berücksichtigt werden.

Am häufigsten wurde in dieser Gruppe eine Bewegung des Beckens bzw. der Hintergliedmaße beobachtet. 1,3 % (n = 66) der hirnstammnegativen Tiere zeigten während der Reizapplikation dieses Bewegungsmuster. Bei einem % (n = 53) der Tiere mit negativem Gehirnnerven-Befund wurde das Muster „Maul öffnen“ dokumentiert. Eine Bewegung, die in 0,8 % (n = 44) der Fälle festgestellt wurde, war ein kurzes Strecken der Vordergliedmaße. Die restlichen definierten Bewegungsmuster wie „Kopf schütteln“, „Hochziehen Kopf/Nacken“, „Tonisch dorsales Strecken“ und weitere „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ wurden jeweils von lediglich bis zu 0,3 % der hirnstammnegativen Schweine gezeigt. Signifikante Unterschiede konnten bei einigen Bewegungsmustern zwischen den Schlachthöfen A und B ermittelt werden. Aufgrund der teilweise niedrigen Datenmengen wurden nur die Bewegungsmuster mit $n \geq 44$ statistisch berechnet. „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ trat bei Schweinen mit negativem Gehirnnerven-Befund häufiger in Schlachthof B als an den Schlachthöfen A oder C auf ($p < 0,001$). Ebenso war das Vorkommen von „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ in Schlachthof B häufiger beobachtet worden, als in Betrieb A ($p < 0,05$). Zwischen den Versuchsvarianten in Schlachthof B wurden keine statistisch relevanten Unterschiede festgestellt ($p > 0,05$). Abb. 26 stellt die genannten Ergebnisse graphisch dar.

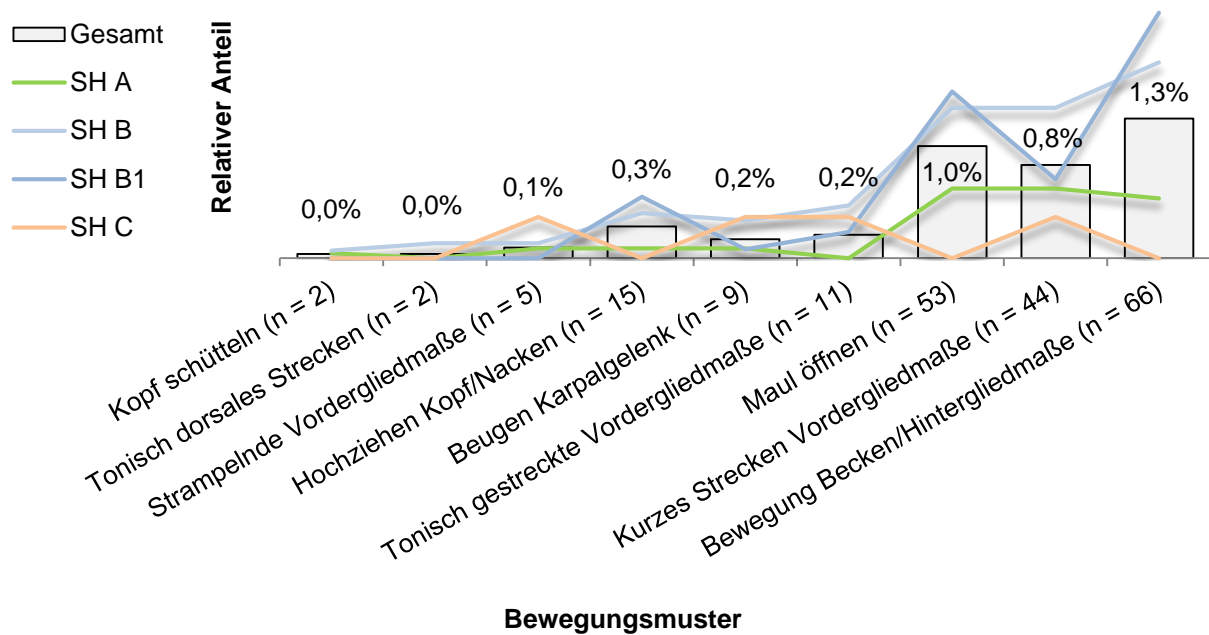


Abb. 26: Relativer Anteil der Bewegungsmuster bei Schweine mit negativem Gehirnnerven-Befund
(SH = Schlachthof, SH B1 = Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“)

4.2.10 Vorkommen von Bewegungsmuster-Kombinationen während der Heißwasser-Reizapplikation

Kombiniert man die definierten Bewegungsmuster miteinander wären 362.880 (9!) unterschiedliche Bewegungsmuster-Kombinationen möglich. Es stellte sich jedoch heraus, dass die reagierenden Schweine lediglich 63 unterscheidbare Kombinationen zeigten. Tab. 27 im Anhang stellt alle vorgefundenen Bewegungsmuster-Kombinationen dar – als sogenannten 9er Kombination bezeichnet. Hiernach wurde zur vereinfachten Darstellung der Daten eine erneute Einteilung in lediglich fünf verschiedene Kriterien beschlossen:

- **„Aufrichteversuche“ und „Kopf schütteln“:** Aufgrund der ähnlichen, sich beteiligenden Muskelgruppen im Kopf- und Nackenbereich und des hohen Anteils positiver Gehirnnerven-Befunde innerhalb der zwei Gruppen wurden Schweine mit aufrichtenden Bewegungen und solche mit dem Bewegungsmuster „Kopf schütteln“, in einer Kategorie zusammengefasst.
- **„Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“:** Das Bewegungsmuster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ wurde zu den anderen „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ weiterhin einzeln betrachtet. Dieses Muster korrelierte am wenigsten häufig mit positiven Gehirnnerven-Befunden und wurde zumeist isoliert und selten in Kombination mit anderen Bewegungsmustern bei den reagierenden Tieren beobachtet. Die übrigen Unterkategorien der Gruppe „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ wurden im neu definierten Muster „Reaktionen Vordergliedmaße“ zusammengefasst betrachtet, da die hieran beteiligten Muskelgruppen eher zielgerichtete Reaktionen hervorriefen, als es bei der relativ einfachen Bewegung „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ der Fall war.

Die schematische Darstellung der Einteilung der Bewegungsmuster für die Analyse der Bewegungsmuster-Kombinationen kann Abb. 27 entnommen werden.

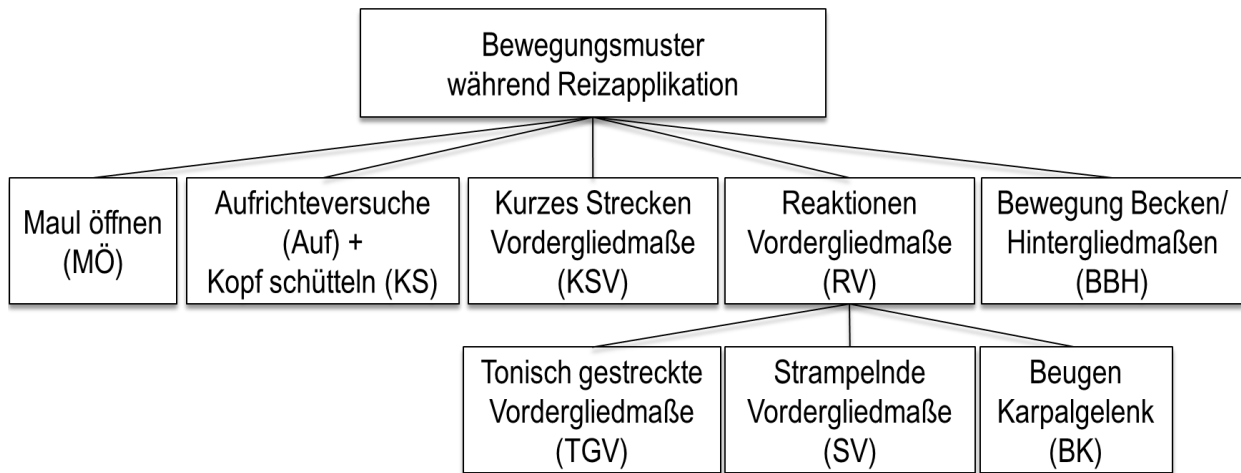


Abb. 27: Einteilung der Bewegungsmuster für die Analyse der Bewegungsmuster-Kombinationen während der Heißwasser-Reizapplikation

Aus diesen fünf neu definierten Bewegungsmustern lassen sich rein mathematisch 120 (5!) verschiedene Kombinationen errechnen. Tab. 28 im Anhang zeigt alle vorgefundenen Bewegungsmuster-Kombinationen in der sogenannten 5er Kombination. Tatsächlich wurden jedoch lediglich 27 verschiedene Varianten von den Mastschweinen im Heißwasser-Reiz gezeigt.

Um einen Eindruck zu geben, wie sich Bewegungsmuster-Kombinationen darstellen, sind in den folgenden Bilderreihen Schweine mit häufig vorkommenden Reaktionsmustern dargestellt. Abb. 28 a-c zeigt den Bewegungsablauf eines Mastschweins, das mit heftigem Ausmaß auf das heiße Wasser reagierte. Das Tier zeigt vor allem deutliche Reaktionen der Vordergliedmaße, das Muster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ und „Hochziehen Kopf/Nacken“. Abb. 29 a-b zeigt ein Schwein, das durch die Bewegungsmuster „tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ und „tonisch dorsales Strecken“ aufgefallen war. Kurz vor Ende der Reizapplikation führte dieses Tier außerdem eine deutliche Maulöffnungsbewegung durch. Beide Schweine waren in der Gehirnnerven-Untersuchung als doppelt positiv bewertet worden. Weitere Beispiele reagierender Schweine in den Schlachthöfen A und B sind im Anhang in den Abb. 47 a-c bis 50 a-c zu finden.



Abb. 28 a-c: Schwein mit Bewegung während der Heißwasser-Reizapplikation, Schlachthof A:
Kombination aus mehrmaligen Bewegungsmustern: „Beugen Karpalgelenk“, „Strampeln Vordergliedmaße“,
„Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ und „Hochziehen Kopf/Nacken“;
Gehirnnerven-Befund: positiv



Abb. 29 a-b: Schwein mit Bewegung während der Heißwasser-Reizapplikation, Schlachthof A:
Kombination aus mehreren Bewegungsmustern: „Tonisch dorsales Strecken“,
„Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ und „Maul öffnen“;
Gehirnnerven-Befund: positiv

In Abb. 30 sind mit Hilfe eines Venn-Diagramms alle beobachteten Bewegungsmuster-Kombinationen der Mastschweine aus den fünf definierten Mustern dargestellt. Das Rechteck um das Diagramm herum steht sinnbildlich für den Raum aller Ereignisse, also der Menge aller Schweine mit erkennbaren Bewegungsmuster-Kombinationen. Die in dieser Darstellung gewählten Ellipsen innerhalb des Rechtecks, jeweils farblich voneinander unterscheidbar, stellen die einzelnen Bewegungsmuster dar. Die Summe aller Zahlen, die innerhalb einer Ellipse notiert ist, entspricht der Anzahl an Schweinen, die in ihrer Bewegungsmuster-Kombination dieses Muster gezeigt hatten. Die Ellipsen überschneiden sich, so dass sich Kombinationen der Bewegungsmuster ergeben. Einige Schnittmengen sind leer, da nicht jede der möglichen 120 Kombinationen beobachtet wurde.

Nahezu alle Bewegungsmuster, mit Ausnahme der „Reaktionen Vordergliedmaße“ (Abb. 30: braun), wurden neben Kombinationen mit anderen Mustern, auch isoliert beobachtet. 10 % (n = 20) aller reagierender Schweine zeigten das ausschließliche Bewegungsmuster „Maul öffnen“ (Abb. 30: blau). 0,5 % (n = 1) der reizpositiven Tiere wurden mit dem alleinigen Muster „Aufrichteversuche + Kopf schütteln“ (Abb. 30: lila) dokumentiert. 4 % (n = 8) der Reagenten zeigten ausschließlich „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ (Abb. 30: grün). Am häufigsten trat jedoch das alleinige Bewegungsmuster „Bewegungen Becken/Hintergliedmaße“ (Abb. 30: gelb) auf. Es wurde bei 30 % (n = 59) aller reagierenden Schweine beobachtet.

Die 2er-Bewegungsmuster-Kombination aus „Aufrichteversuche + Kopf schütteln“ und „Reaktionen Vordergliedmaßen“ wurde von 30 % (n = 59) aller reizpositiven Tiere gezeigt (Abb. 30: lila + braun). „Maul öffnen“ zusammen mit „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ wurde bei 32 % (n = 64) aller reagierender Schweine gemeinsam beobachtet (Abb. 30: blau + grün). Bei 9 % (n = 18) der Schweine wurde die Bewegungsmuster-Kombination aus „Maul öffnen“ und „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ dokumentiert (Abb. 30: blau + grün). Von ebenfalls 9 % (n = 18) aller reizpositiven Tiere wurde die 4er-Kombination aus „Maul öffnen“, „Aufrichteversuche + Kopf schütteln“, „Reaktionen Vordergliedmaße“ und „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ gezeigt (Abb. 30: blau + lila + braun + grün). In 8 % (n = 16) der Fällen konnte dieses letztgenannte Kombinationsmuster, exklusive dem Bewegungsmuster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“, beobachtet werden (Abb. 30: blau + lila + braun: 16 Tiere). Weitere Bewegungsmuster-Kombinationen sind Abb. 30 zu entnehmen.

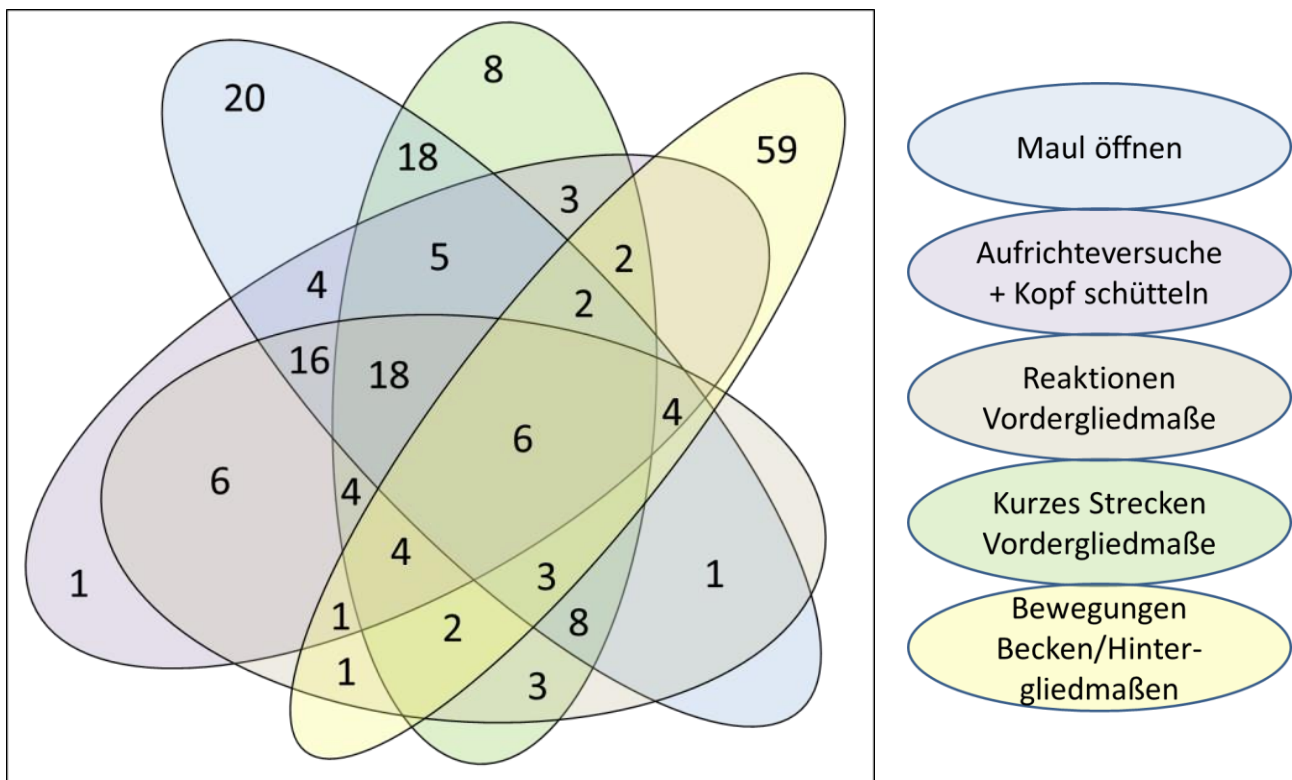


Abb. 30: Bewegungsmuster-Kombinationen während der Heißwasser-Reizapplikation; Schlachthöfe A, B und C; n reizpositiv = 199

4.2.11 Zusammenhang zwischen Bewegungsmuster-Kombinationen und den Gehirnnerven-Befunden

Mit Hilfe des Venn-Diagramms können alle Bewegungsmuster-Kombinationen im Zusammenhang mit den Befunden der Gehirnnerven-Untersuchung dargestellt werden. Links und rechts des Quadrates um das Diagramm aus Abb. 30 herum sind verschiedene Zahlenverhältnisse angeordnet, dargestellt in Abb. 31. Die jeweilige Anzahl der Schweine mit positiven Gehirnnerven-Befunden befinden sich hierbei stets links und die Anzahl der Schweine mit negativen Befunden rechts des Doppelpunktes. Auf der linken Seite des Quadrates des Diagrammes finden sich jene Zahlenverhältnisse, bei denen der Anteil an Mastschweinen mit positiven Befunden überwog. Rechts des Quadrates sind die Verhältnisse aufgetragen, bei denen die Tiere häufiger einen negativen Gehirnnerven-Befund aufwiesen. Es stellten sich hierbei einige Verhältnisse heraus, bei denen keine eindeutige Tendenz zu erkennen war, bzw. bei denen wegen der geringen Fallzahl keine sichere Aussage möglich erschien. Zusätzlich zur Darstellung der Ergebnisse mittels des Venn-Diagrammes sind in Tab. 29 im Anhang alle Bewegungsmuster-Kombinationen in Korrelation mit den Gehirnnerven-Befunden tabellarisch dargestellt.

Je vielfältiger die Bewegungsmuster-Kombinationen der untersuchten Tieren waren, desto höher war der relative Anteil an Schweinen mit positiven Gehirnnerven-Befunden. Jedoch stellte sich ebenfalls heraus, dass manche Bewegungsmuster, selbst wenn sie isoliert gezeigt wurden, auch bei hirnstammpositiven Tieren dokumentiert wurden. Hierunter fielen unter anderem die Muster „Maul öffnen“ (Abb. 31: blau) und „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ (Abb. 31: grün). Bei 17 der 20 Tiere mit ausschließlichem „Maul öffnen“ wurden zwar negative Gehirnnerven-Befunde festgestellt, trotzdem wiesen immerhin noch drei Tiere einen positiven Befund auf. Ein ähnliches Ergebnis lieferte das ausschließliche Bewegungsmuster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“, bei dem das Verhältnis positiver zu negativer Gehirnnerven-Befunde 2 zu 6 betrug. Eindeutiger waren die Kombinationen der Bewegungsmuster „Aufrichteversuche + Kopf schütteln“ (Abb. 31: lila) zusammen mit „Reaktionen der Vordergliedmaße“ (Abb. 31: braun), lässt man andere Muster außer Acht. 49 von 59 Schweinen, die beide genannten Muster in ihrer Bewegungsmuster-Kombination gezeigt hatten, wiesen einen positiven Gehirnnerven-Befund auf.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass beinahe alle Bewegungsmuster-Kombinationen während der Heißwasser-Reizapplikation als Indizien für Schweine genannt werden können, die am Ende der Nachentblutestrecke durch die Gehirnnerven-Untersuchung nicht als tot zu bezeichnen waren. Eine Ausnahme bildet das ausschließliche Muster „Bewegung Becken/ Hintergliedmaße“. Es kam während der Untersuchungen nie bei solchen Tieren vor, die noch mindestens einen positiven Gehirnnerven-Befund aufwiesen. Das Verhältnis positiver zu negativer Gehirnnerven-Befunde bei Schweinen mit diesem isoliert gezeigten Bewegungsmuster lag bei 0 zu 59. Alle Mastschweine mit alleiniger Becken- bzw. Hintergliedmaßenbewegung waren laut Gehirnnerven-Untersuchung als hirnstammtot diagnostiziert worden.

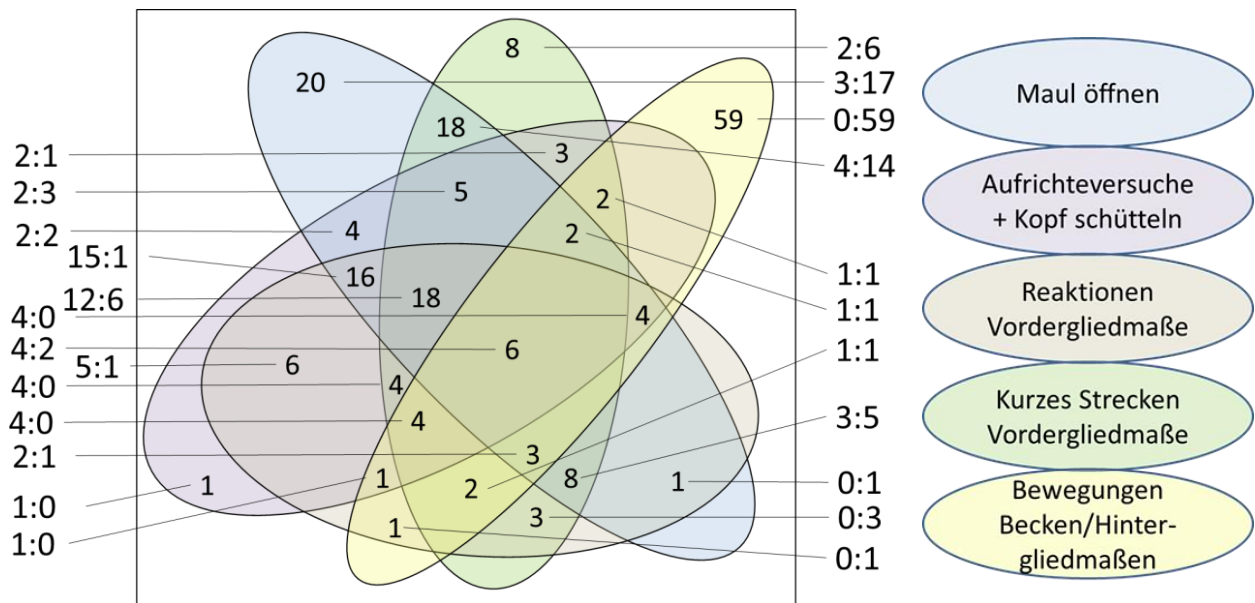


Abb. 31: Zusammenhang zwischen Bewegungsmuster-Kombinationen während der Heißwasser-Reizapplikation und den Gehirnnerven-Befunden (hirnstamm-positiv : hirnstamm-negativ); Schlachthöfe A, B und C; $n_{\text{reizpositiv}} = 199$

4.2.12 Schweine mit steif veränderter Körperhaltung am Ende der Nachentblutestrecke

Im Hinblick auf die spätere Entwicklung des automatisierten Detektionsverfahrens, wurden in den Untersuchungen auch die Tiere registriert, die zwar keine erkennbare Reaktion während der Reizapplikation zeigten, jedoch aufgrund ihrer von den anderen Tieren abweichend veränderten Körperhaltung auffielen. Die steifen Haltungsmuster dieser Schweine ähnelten stark einigen abgeschlossenen Reaktionsmustern von sich bewegendenden Schweinen. Abb. 32 zeigt beispielhaft ein solches Schwein mit steif veränderter Körperhaltung am Ende der Nachentblutestrecke.



Abb. 32: Schwein mit steif veränderter Körperhaltung:
Kombination aus „tonisch dorsalem Strecken“ und leichten „tonisch gestreckten Vordergliedmaßen“;
Gehirnnerven-Befund: negativ

Im Moment der Reizapplikation waren Schweine mit steif veränderter Körperhaltung nicht immer von reagierenden Schweinen zu unterscheiden. Erst nach der Reizung konnten die entsprechenden Tiere durch manuelle Prüfung ihres Muskeltonus und in die jeweilige Gruppen, „reizpositiv“ oder „steif veränderte Körperhaltung“, eingeteilt werden. Insgesamt wurden zehn Mastschweine mit solch verfestigter Muskulatur registriert. Alle waren laut Gehirnnerven-Untersuchung als hirstammtot bezeichnet worden. In Schlachthof A trat es innerhalb der reiznegativen Schweine bei 0,4 % (n = 8) der Fälle auf, in Schlachthof B waren es 0,1 % (n = 1) und in Schlachthof C ebenfalls 0,4 % (n = 1). Tab. 16 zeigt das Vorkommen von Schweinen ohne Körperspannung bzw. mit steif veränderter Körperhaltung innerhalb der Gruppe der reiznegativen Tiere je Schlachthof.

Tab. 16: Muskeltonus reiznegativer Schweine

	SH A	SH B	SH B1¹	SH C	Gesamt
n ohne Reaktion	2198	1421	1216	267	5102
ohne Körperspannung	2190 (99,6 %)	1420 (99,9 %)	1216 (100 %)	266 (99,6 %)	5092 (99,8 %)
mit steif veränderter Körperhaltung	8 (0,4 %)	1 (0,1 %)	0 (0 %)	1 (0,4 %)	10 (0,2 %)

¹ Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“; SH = Schlachthof

Bei genauerer Betrachtung der Haltungsmuster, wiesen drei von zehn Tieren ausschließlich tonisch gestreckte Vordergliedmaßen und zwei von zehn zusätzlich ein konstant geöffnetes Maul auf. In einzelnen Fällen hatten die Mastschweine verschiedene Kombinationen aus tonisch gestreckten Vordergliedmaßen, einem konstant geöffnetem Maul oder einem tonisch dorsal gestreckten Kopf bzw. Nacken gezeigt. Tab. 30 im Anhang stellt alle Haltungsmusterkombinationen der Schweine mit steif veränderter Körperhaltung dar.

Trotz deutlich versteiftem Muskeltonus in den Vordergliedmaßen waren bei einem Schwein, in Schlachthof A, kurz nach Reizapplikation ein geringgradiges, aktives Öffnen des Mauls und eine Zungenbewegung aufgefallen. Ansonsten hatte sich keines der Tiere mit steif veränderten Körperhaltungsformen weder in der Reisanlage noch hinterher bewegt. Im Beobachtungsbereich vor der Reisanlage konnte jedoch in zwei Fällen eindeutig dokumentiert werden, dass sich die Muskulatur der schlussendlich steif veränderten Schweine im Laufe der Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich Schritt für Schritt verhärteten.

4.2.13 Abschließende Bewertung des Reizes „Heißwasser“

Wie im Vorversuch zeigten sich auch im Hauptversuch relativ zufriedenstellende Ergebnisse bei der Berechnung der Bewertungsparameter der Heißwasser-Reizapplikation. Da in Schlachthof C kein Schwein einen positiven Befund in der Gehirnnerven-Untersuchung aufwies, bleibt dieser Betrieb im folgenden Vergleich unbeachtet.

- **Sensitivität:** An den Schlachthöfen A und B zeigten fast alle Mastschweine mit mindestens einem positiven Gehirnnerven-Befund in der Heißwasser-Reisanlage eine erkennbare Bewegung. Die Sensitivität des Reizes „Heißwasser“ betrug demnach 99 %. Lediglich in Schlachthof A wurde ein Schwein dokumentiert, das sich trotz positivem „Augentest“ während

der Reizapplikation nicht bewegte. Das Tier war weiblich und hing ohne sichtbare Körperspannung von der Rohrbahn herab. Zwischen den beiden Schlachthöfen A und B und ebenso innerhalb beider Versuchsvarianten in Schlachthof B waren in der Sensitivität keine statistisch erkennbaren Unterschiede feststellbar ($p > 0,05$).

- **Spezifität:** Die Spezifität des Reizes „Heißwasser“ lag bei 98 %. 5.101 der 5.226 hirnstammnegativen Schweine hatten während der Reizapplikation keinerlei Muskelaktivität gezeigt. Sie hingen ohne erkennbare Bewegung von der Rohrbahn herab.
- **Positiver prädiktiver Wert:** Bei der Berechnung des positiven prädiktiven Wertes ergab sich ein prozentuales Ergebnis von 37 %. Demnach wiesen 63 % ($n = 125$) der Schweine, die sich während der Reizapplikation bewegt hatten, hinterher einen negativen Gehirnnerven-Befund auf. Bezogen auf die Gesamtheit aller hirnstammnegativen Schweine relativiert sich das augenscheinlich unzufrieden stellende Ergebnis. Bei einem Reiztest mittels Heißwasser würden laut der Referenzmethode dieser Untersuchung 2,4 % ($n = 125$) der Schweine falsch positiv diagnostiziert werden.
- **Negativer prädiktiver Wert:** Der negative prädiktive Wert, der den Anteil reiznegativer Schweine innerhalb der hirnstammnegativen Tiere beschreibt, lag in der vorliegenden Untersuchung bei 100 %. Nahezu jedes reiznegative Schwein war laut der Gehirnnerven-Untersuchung auch als hirnstammnegativ registriert worden.

Durch die umfangreichen Analysen der unterschiedlichen Bewegungsmuster und ihrer Kombinationen wurde deutlich, dass die ausschließliche Becken- bzw. Hintergliedmaßenbewegungen während der Untersuchungen in keinem Falle mit positiven Gehirnnerven-Befunden korrelierten, ersichtlich in Kapitel 4.2.11. Durch Weglassen dieses Bewegungsmusters in der Berechnung der Bewertungsparameter konnte insbesondere der positive prädiktive Wert neu ermittelt werden. Die Hypothese war, dass bei der Beobachtung ausschließlich des cranialen Körperbereiches der Schweine und nicht des Beckens bzw. der Hintergliedmaße das Reizverfahren ein besseres Ergebnis liefern kann. Aus diesem Grund wurden die Schweine mit ausschließlicher Becken- bzw. Hintergliedmaßenbewegung zu den reiznegativen Tieren hinzuaddiert. Daraufhin wurden die Befunde der Gehirnnerven-Untersuchung dieser Gruppe mit den Schweinen verglichen, die ausschließlich im cranialen Körperbereich Bewegungsmuster gezeigt hatten. Die Sensitivität blieb bei dieser Berechnungsweise identisch. Die Spezifität erhöhte sich von 98 % auf 99 %. Der positive prädiktive Wert hatte sich verbessert und lag nun bei 53 %. Bei isolierter Betrachtung ausschließlich des cranialen Körperbereiches der Schweine wiesen nun über die Hälfte der reizpositiven Schweine einen positiven Gehirnnerven-Befund auf. Umgerechnet auf die Gesamtheit aller Schweine, die hirnstammnegativ waren, würden bei Außerachtlassung des caudalen Körperbereiches der Schweine lediglich 1,3 % ($n = 66$) der Tiere falsch positiv erkannt werden. Der negative prädiktive Wert lag weiterhin bei 100 %.

Tab. 17 stellt die Vier-Felder-Tafel des Reizes „Heißwasser“ im Hauptversuch dar. Mit Pfeilen markiert ist jeweils die neu berechnete Anzahl der Schweinen angegeben, die sich ergibt, wenn all diejenigen mit ausschließlichem Bewegungsmuster „Bewegung Becken/ Hintergliedmaße“ zu den reiznegativen Tiere gezählt werden. Tab. 18 zeigt die abschließenden Ergebnisse der Bewertungsparameter des Hauptversuches.

Tab. 17: Vier-Felder-Tafel des Reizes "Heißwasser" im Hauptversuch

(rechts der Pfeile = Anzahl n bei Betrachtung ausschließlich des cranialen Körperbereiches der Schweine)

Reiz-Untersuchung	Gehirnnerven-Befund						Zeilensumme
	positiv	negativ					
positiv	richtig positiv:	74	falsch positiv:	125	→ 66	199	→ 140
negativ	falsch negativ:	1	richtig negativ:	5101	→ 5160	5102	→ 5161
Spaltensumme		75		5226	→ 5226		

Tab. 18: Abschließende Ergebnisse der Bewertungsparameter für den Reiz „Heißwasser“;

Vergleich hierzu: *Betrachtung ausschließlich des cranialen Körperbereiches der Schweine*

	Heißwasser % (95 % CI)	Heißwasser BBH als reiznegativ bewertet % (95 % CI)
Sensitivität	98,7 (92,8 - 99,8)	98,7 (92,8 - 99,8)
Spezifität	97,6 (97,2 - 98,0)	98,7 (98,4 - 99,0).
positiver prädiktiver Wert	37,2 (30,5 - 44,3)	52,9 (44,3 - 61,3)
negativer prädiktiver Wert	100,0 (99,9 - 100,0)	100,0 (99,9 - 100,0)

CI = Konfidenzintervall, BBH = ausschließliches Bewegungsmuster „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“

4.3 Spontanbewegungen auf der Nachentblutestrecke

4.3.1 Vorkommen von Spontanbewegungen

Bedingt durch die ungünstige bauliche Situation in Schlachthof A war es lediglich in den Schlachthöfen B und C möglich die Tiere bereits in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich zu beobachten. In Schlachthof B befanden sich die Schweine während dieser Zeit in einer liegenden Position, in Schlachthof C waren sie bereits angeschlungen. Im Schnitt bewegten sich in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich in Schlachthof B 21 % (n = 520) und in Schlachthof C 50 % (n = 133) der Tiere spontan. In Schlachthof B war die Beurteilung einiger weniger Tiere durch teilweise schlechte Sichtverhältnisse im Anfangsteil der Nachentblutestrecke nicht möglich. Dadurch ergab sich eine kleinere Ausgangsdatenmenge, als während der Reizuntersuchung am Ende der Nachentblutestrecke. Tab. 19 zeigt die genannten Ergebnisse.

Tab. 19: Vorkommen von Spontanbewegungen in den Minuten 1 bis 2 nach Entblutestich, Schlachthöfe B und C

	Schlachthof B liegend 2518	Schlachthof C hängend 268
n untersucht		
ohne Spontanbewegung	1998 (79 %)	135 (50 %)
mit Spontanbewegung	520 (21 %)	133 (50 %)

Drei bis vier Minuten nach dem Entblutestich war es an allen drei Betrieben möglich die Schweine, nun alle in hängender Position, zu beurteilen. Hierbei wurde ermittelt, dass sich 11 % (n = 590) aller untersuchten Tiere vor der Reizanlage spontan bewegt hatten. In Schlachthof A (n = 161) und C (n = 19) lag der Anteil bei 7 %. In Schlachthof B zeigten proportional mehr als doppelt so viele Schweine Spontanbewegungen auf der Nachentblutestrecke, nämlich 15 % (n = 410). Dies entspricht statistisch einem wesentlich höheren Anteil, als er in den Betrieben A und C verzeichnet wurde ($p < 0,001$). Die genannten Ergebnisse sind der Tab. 20 zu entnehmen.

Tab. 20: Vorkommen von Spontanbewegungen in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich, Schlachthöfe A, B und C

	SH A	SH B	SH C	Gesamt
n untersucht	2261	2772	268	5301
ohne Spontanbewegung	2100 (93 %)	2362 (85 %)	249 (93 %)	4711 (89 %)
mit Spontanbewegung	161 (7 %)	410 (15 %)	19 (7 %)	590 (11 %)

SH = Schlachthof

4.3.2 Vorkommen von Spontanbewegungen im Zusammenhang mit den Reiz- und Gehirnnerven-Befunden

Bei näherer Betrachtung der Spontanbewegungen drei bis vier Minuten nach Entblutestich, wurde deutlich, dass sich die meisten Tiere, die durch das Reizsystem erkannt wurden, vorher bereits spontan bewegt hatten. Tatsächlich hatten 94 % (n = 188) der reizpositiven Schweine vorherige Spontanbewegungen gezeigt. 6 % (n = 11) der Tiere mit Reaktionen auf das heiße Wasser waren demnach vor der Reizapplikation nicht aufgefallen. Jedoch hatten sich auch 8 % (n = 402) der Tiere, die nicht auf das heiße Wasser reagierten, vorher spontan bewegt.

Mastschweine, die mit einem positiven Gehirnnerven-Befund dokumentiert wurden hatten zu 100 % (n = 75) vorherige Spontanbewegungen gezeigt. Jedoch wurden auch bei 10 % (n = 515) der hirnstammnegativen Tiere drei bis vier Minuten nach Entblutestich Spontanbewegungen beobachtet.

Da fast alle hirnstammpositiven Schweine eine Bewegung auf den Heißwasser-Reiz gezeigt hatten, waren ebenso 100 % (n = 74) der reiz- und hirnstammpositiven Tiere durch vorangegangene Spontanbewegungen aufgefallen. Interessanterweise wurden jedoch auch bei 8 % (n = 401) der Schweine, die weder auf den Reiz, noch auf die Gehirnnerven-Untersuchung reagiert hatten, vor der Reizapplikation spontane Bewegungen dokumentiert. Tab. 21 verdeutlicht noch einmal die genannten Ergebnisse.

Tab. 21: Vorkommen von Spontanbewegungen 3 bis 4 Minuten nach Entblutestich im Zusammenhang mit den Reiz- bzw. Gehirnnerven-Befunden; Schlachthöfe A, B und C

n untersucht	Bewegung auf Reiz		GN-Befund		Beide Ergebnisse	
	Positiv	negativ	positiv	negativ	positiv	negativ
	199	5102	75	5226	74	5227
ohne Spontanbew.	11 (6 %)	4694 (92 %)	0 (0 %)	4711 (90 %)	0 (0 %)	5188 (98 %)
mit Spontanbew.	188 (94 %)	402 (8 %)	75 (100 %)	515 (10 %)	74 (100 %)	401 (8 %)

Spontanbew. = Spontanbewegung; GN = Gehirnnerven

4.3.3 Neugestaltung des Auswerteschemas der Spontanbewegungsmuster

Die ursprünglich definierten Bewegungsmuster, die in Kapitel 3.4.4 dargestellt wurden, sollten bei der Analyse der Spontanbewegungen ebenfalls herangezogen werden. Nach den Ergebnissen des Vorversuches (Daten nicht dargestellt) stellte sich hier jedoch ebenfalls heraus, dass diese Einteilung nicht umsetzbar war. Folgende Änderungen wurden vorgenommen:

- **„Atmungsbewegungen“:** Mögliche Atmungsbewegungen konnten wie auch bei der Reiz-Reaktion-Analyse nicht sicher differenziert werden und wurden in der Kategorie „Maul öffnen“ zusammengefasst.
- **„Aufrichteversuche“:** aufrichtende Bewegungen konnten wie es sich auch bei der Reiz-Reaktions-Analyse herausgestellt hatte, in die Muster „Hochziehen Kopf/Nacken“ und „Tonisch dorsales Strecken“ unterteilt werden.
- **„Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“:** Die Vordergliedmaßen waren während der Beobachtungen der Spontanbewegungen nicht, wie bei der Reiz-Reaktion-Analyse, gleichermaßen detailgenau beurteilbar. Aufgrund dessen wurde bei vorkommenden spontanen Auffälligkeiten der Vordergliedmaße lediglich zwischen den Mustern „Bewegungen Vordergliedmaße“ und „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ unterschieden.
- **„Vokalisation“:** Lautäußerungen wurden während der Beobachtungen der Spontanbewegungen ebenfalls nie beobachtet und deswegen negiert.
- **„Grimassieren“ und „Lidschluss“:** Aufgrund derselben Bewertungs-Unsicherheit, die bereits bei der Reiz-Reaktions-Analyse aufgetreten war, wurden spontanes „Grimassieren“ und spontaner „Lidschluss“ nicht mit in die Analyse aufgenommen.

Schlussendlich konnten sieben verschiedene spontane Bewegungsmuster unterschieden werden, dargestellt in Abb. 33.

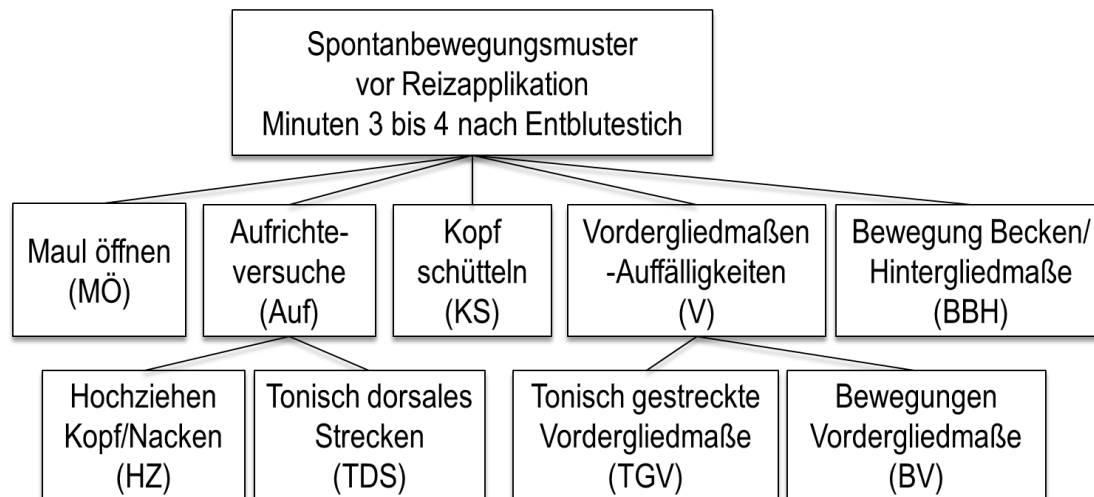


Abb. 33: Schema der Einteilung der Spontanbewegungsmuster für die Beobachtungsanalyse 3 bis 4 Minuten nach Entblutestich

4.3.4 Spontanbewegungsmustern von Schweinen mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und positivem Gehirnnerven-Befund

Betrachtet man die in Tab. 21 angegebenen 74 Mastschweine, die während der Heißwasser-Reizapplikation und in der Gehirnnerven-Untersuchung positiv reagiert hatten genauer, wird deutlich welche Spontanbewegungen als Hinweise für Tiere angesehen werden können, bei denen die Gefahr bestand, dass sie am Ende der Nachentblutestrecke nicht sicher als tot bezeichnet werden können. Statistische Berechnungen wurden hierbei ab einer Fallzahl von mehr als 20 durchgeführt.

100 % (n = 74) der Mastschweine, die sowohl auf den Reiz als auch auf die Gehirnnerven-Untersuchung reagierten, hatten drei bis vier Minuten nach Entblutezeitpunkt spontan das Maul geöffnet. 49 % (n = 36) der reiz- und hirnstammpositiven Tiere zeigten das spontane Bewegungsmuster „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“. „Tonisch dorsales Strecken“ wurde von 28 % (n = 21) jener Schweine gezeigt. Spontanes „Maul öffnen“ trat statistisch gesehen häufiger auf als die anderen zwei genannten Muster ($p_{MÖ/TGV} < 0,001$; $p_{MÖ/TDS} < 0,05$). Die spontan durchgeführten Muster „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ und „Tonisch dorsales Strecken“ wurde bei den reiz- und hirnstammpositiven Tieren statistisch gesehen gleich häufig beobachtet ($p_{TGV/TDS} > 0,05$). Ein weiteres Bewegungsmuster, das bei 26 % (n = 19) der genannten Schweine auf der Nachentblutestrecke auftrat, war „Bewegung Vordergliedmaße“. 18 % (n = 13) der reiz- und hirnstammpositiven Schweine hatten vor der Reizanlage eine Bewegung im Becken bzw. in den Hintergliedmaßen gezeigt. Bei 8 % (n = 6) dieser Tiere wurde das spontane Bewegungsmuster „Hochziehen Kopf/Nacken“ und bei einem % (n = 1) der Schweine die Bewegung „Kopf schütteln“ dokumentiert. Ihrem Schweregrad nach aufsteigend sortiert sind die sieben vorkommenden Muster der Spontanbewegungen der Schweine mit positiven Reaktionen auf den Heißwasser-Reiz und die Gehirnnerven-Untersuchung in Abb. 34 dargestellt.

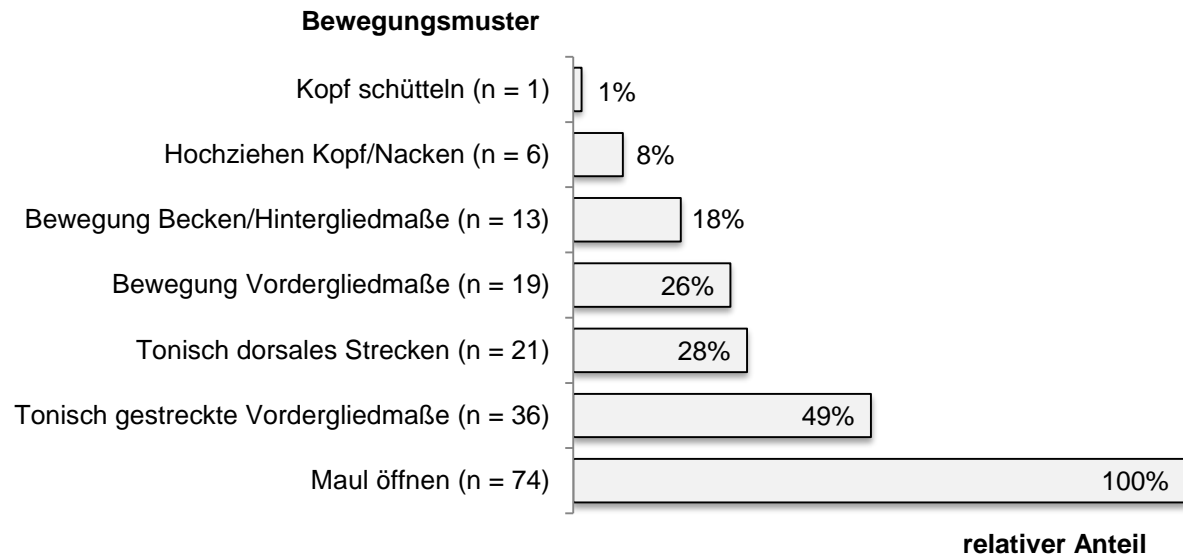


Abb. 34: Relativer Anteil der Spontanbewegungsmuster von reiz- und hirnstammpositiven Schweinen, 3 bis 4 Minuten nach Entblutestich

4.3.5 Spontanbewegungsmuster-Kombinationen von Schweinen mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und positivem Gehirnnerven-Befund

Durch Kombination der sieben definierten Spontanbewegungsmuster ergeben sich rein rechnerisch 5.040 (7!) Kombinationsmöglichkeiten. Die reiz- und hirnstammpositiv diagnostizierten Mastschweine zeigten in den Versuchen jedoch lediglich 17 verschiedene spontane Bewegungsmuster-Kombinationen. Abb. 35 stellt in einem Tortendiagramm alle dokumentierten Kombinationen der Spontanbewegungen drei bis vier Minuten nach Entblutestich dar. Blau umrandet sind die Kombinationen, um zu verdeutlichen, dass alle reiz- und hirnstammpositiven Tiere das Bewegungsmuster „Maul öffnen“ gezeigt hatten. Jeweils zu einem Drittel konnten die Mastschweine auf der Nachentblutestrecke einer unterscheidbaren Gruppe von Spontanbewegungsmustern zugeordnet werden. Ausschließlich spontanes „Maul öffnen“ wurde bei 35 % (n = 26) der reiz- und hirnstammpositiven Schweine beobachtet. „Aufrichteversuche“, „Kopf schütteln“ und „Maul öffnen“, teilweise in Kombination mit weiteren Mustern, wurden von 31 % (n = 23) der Tiere gezeigt. „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ und „Maul öffnen“, jedoch nur in Kombination mit „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ wurden in 30 % (n = 29) der Fälle dokumentiert. „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ zusammen mit „Maul öffnen“ wurde bei 4 % (n = 3) der reiz- und hirnstammpositiven Mastschweine beobachtet.

Ergänzend zur Darstellung der Spontanbewegungsmuster-Kombinationen von reiz- und hirnstammpositiven Schweinen sind in Tab. 31 im Anhang, unabhängig von den Beobachtungen in der Reizanlage und der Befunde der Gehirnnerven-Untersuchung alle dokumentierten Kombinationen der Spontanbewegungsmuster je Schlachthof aufgetragen. Des Weiteren sind Photographien von sich spontan bewegenden Schweinen der Schlachthöfe A und B in den Abb. 49 a-e bis 52 und in den Abb. 54 und 55 a-b im Anhang dargestellt.

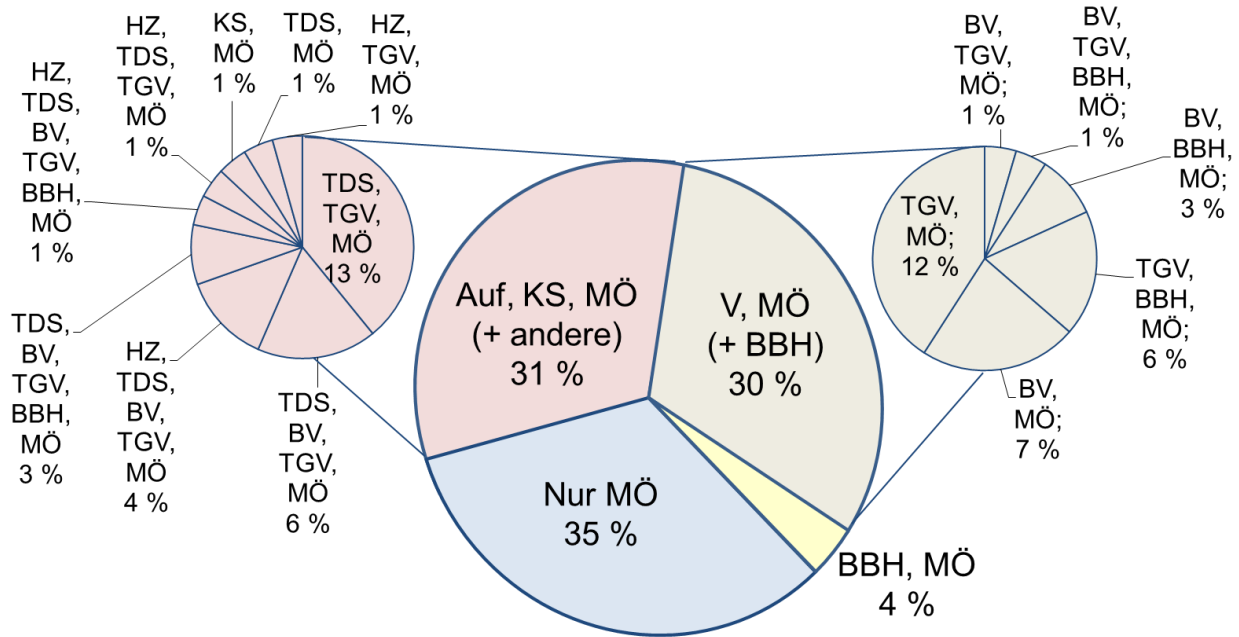


Abb. 35: Spontanbewegungsmuster-Kombinationen von reiz- und hirstammpositiven Schweinen, 3 bis 4 Minuten nach Entblutestich; n reiz- und hirstammpositiv = 74

MÖ = „Maul öffnen“, Auf = „Aufrichteversuche“ (HZ = „Hochziehen Kopf/Nacken“ und TDS = „Tonisch dorsales Strecken“), KS = „Kopf schütteln“, V = „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ (BV = „Bewegungen Vordergliedmaße“, TGV = Tonisch gestreckte Vordergliedmaße), BBH = „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“

4.3.6 Spontanbewegungen von Schweinen ohne Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und mit negativem Gehirnnerven-Befund

Im Folgenden werden die 5.227 Mastschweine näher betrachtet, die weder auf den Reiz, noch auf die Gehirnnerven-Untersuchung reagiert hatten. Wie in Tab. 21 dargestellt, wurde in den Untersuchungen festgestellt, dass 8 % (n = 401) der reiz- und hirstammnegativen Mastschweine auf der Nachentblutestrecke spontane Bewegungen gezeigt hatten. Hierbei wurden Spontanbewegungen ebenfalls ausschließlich in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich berücksichtigt.

60 % (n = 239) der 401 reiz- und hirstammnegativen Tiere zeigten spontan ausschließlich Becken- bzw. Hintergliedmaßenbewegungen. Bei 27 % (n = 108) jener Schweine wurde alleiniges „Maul öffnen“ und bei weiteren 13 % (n = 52) das Muster „Maul öffnen“ kombiniert mit anderen Bewegungen beobachtet. Bei 0,5 % (n = 2) der sich spontan bewegenden reiz- und hirstammnegativen Schweine wurden Auffälligkeiten in den Vordergliedmaßen dokumentiert. Abb. 36 stellt die spontanen Bewegungsmuster-Kombinationen genannter Tiere ebenfalls in einem Tortendiagramm graphisch dar. Der besseren Übersichtlichkeit halber wurden die Muster „Bewegung Vordergliedmaße“ und „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ in der Kategorie „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ zusammengefasst dargestellt.

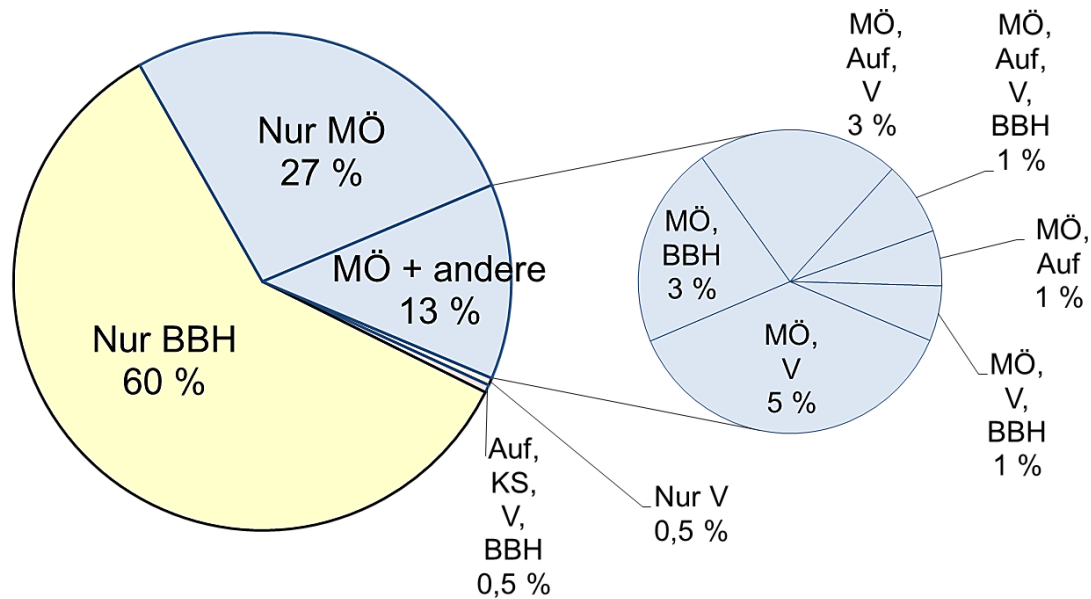


Abb. 36: Spontanbewegungsmuster-Kombination von reiz- und hirnstammnegativen

Schweinen (n = 401), 3 bis 4 Minuten nach Entblutestich; n reiz- und hirnstammnegativ = 5227

MÖ = „Maul öffnen“, Auf = „Aufrichteversuche“ („Hochziehen Kopf/Nacken“ und „Tonisch dorsales Strecken“), KS = „Kopf schütteln“, V = „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ („Bewegung Vordergliedmaße“ und „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“), BBH = „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“

4.3.7 Spontane Maulöffnungs-Bewegungen zwischen Entblutestich und Reizapplikation

Das Bewegungsmuster „Maul öffnen“ stellte sich in den Beobachtungen der Spontanbewegungen als besonders bedeutsam heraus. Aus diesem Grund wurden die entsprechenden Schweine auf der Nachentblutestrecke näher untersucht.

379 Tiere in Schlachthof B hatten in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich das Maul sichtbar geöffnet und konnten in der Auswertung berücksichtigt werden. Abb. 53 a-c im Anhang zeigt beispielhaft ein Schwein mit spontaner Maulöffnungs-Bewegung (MÖ-Bewegung) in jenem Zeitraum. Da die Arbeitsschritte im unreinen Bereich der Schlachtung nicht immer im gleichen Takt-Rhythmus wie im reinen Bereich ablaufen können, kann es passieren, dass sich die Tierkörper nach dem Anschlingen, jedoch vor dem Einhängen in das Schlachtband anstauen. Dies kann eine sogenannte Traube von Schweinen verursachen, die erst durch das rhythmische Einhängen der Tierkörper in das Schlachtband aufgelöst wird. Eine solche Traubenbildung kam besonders häufig in Schlachthof B vor, so dass hier keine durchgängig freie Sicht zur einwandfreien Betrachtung der Mäuler der Schweine in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich vorhanden war. In Schlachthof A war hingegen die Beobachtung in diesen Minuten lückenlos machbar. Hier konnten die Schweine aus baulichen Gründen jedoch in den ersten zwei Minuten nicht begutachtet werden. In Schlachthof A zeigten 99 Mastschweine beurteilbare MÖ-Bewegungen in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich. Die Abb. 54 und 55 a-b im Anhang zeigen beispielhaft zwei Schweine mit spontanen MÖ-Bewegungen in genanntem Zeitraum.

Die gesamte Beobachtungszeit, die für jedes Tier errechnet werden konnte, betrug in den Minuten 1 bis 2 nach Entblutestich in Schlachthof B im Schnitt 60 Sekunden pro Tier ($\bar{x} = 61$ s/Tier; IQR = 31) und in den darauffolgenden Minuten in Schlachthof A 80 Sekunden pro Tier ($\bar{x} = 84$ s/Tier; IQR = 31). Die Beobachtungszeit zwischen erster und letzter MÖ-Bewegung, die sogenannten „Intervallzeit“, betrug in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich im Schnitt 30 Sekunden pro Tier ($\bar{x} = 33$ s/Tier; IQR = 29) und in den darauffolgenden zwei Minuten 70 Sekunden pro Tier ($\bar{x} = 67$ s/Tier; IQR = 37).

Anzahl an MÖ-Bewegungen: Schweine mit der spontanen Bewegung „Maul öffnen“, die sich außerdem auf den Heißwasser-Reiz hin bewegten, zeigten in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich im Allgemeinen sieben MÖ-Bewegungen ($\bar{x} = 7,0$; IQR = 5,0). Die Anzahl war höher als bei den Schweinen, die sich im Reiz nicht bewegten ($p < 0,05$). Diese reiznegativen Tiere wiesen in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich im Allgemeinen sechs spontane MÖ-Bewegungen auf ($\bar{x} = 6,0$; IQR = 5,0). Bei den Tieren, die drei bis vier Minuten nach Entblutestich das Maul geöffnet hatten, hatten diejenigen, die auf den Reiz reagierten im Allgemeinen neun spontane MÖ-Bewegungen gezeigt ($\bar{x} = 9,0$; IQR = 5,0). Diejenigen Schweine, die reiznegativ waren hatten indes im Allgemeinen nun sechs MÖ-Bewegungen durchgeführt ($\bar{x} = 6,0$; IQR = 5,0). Reizpositive Schweine wurden in diesem Bereich der Nachentblutestrecke mit einer statistisch deutlich höheren Anzahl an MÖ-Bewegungen beobachtet, als reiznegative ($p < 0,001$). Die genannten Ergebnisse sind den Abb. 37 und 38 zu entnehmen.

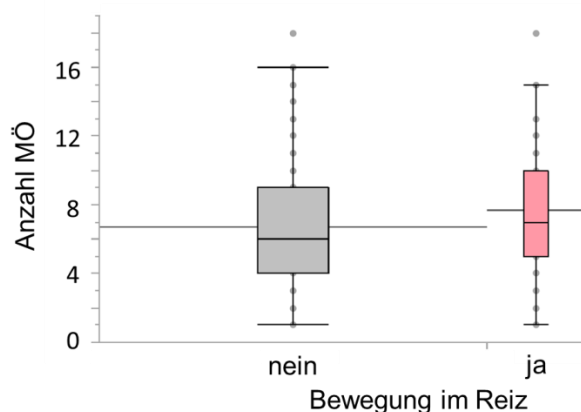


Abb. 37: Anzahl spontaner Maulöffnungs-Bewegungen je Reizergebnis in den Minuten 1 bis 2 nach Entblutestich, Schlachthof B
MÖ = „Maul öffnen“

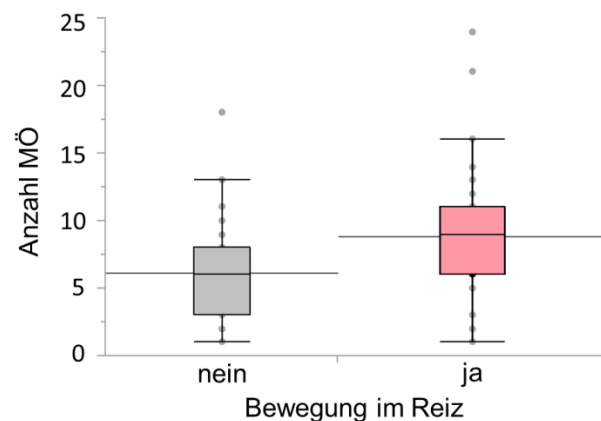


Abb. 38: Anzahl spontaner Maulöffnungs-Bewegungen je Reizergebnis in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich, Schlachthof A
MÖ = „Maul öffnen“

Es konnten zwei verschiedene Arten von Frequenzen der MÖ-Bewegungen pro Zeiteinheit unterschieden werden. Einerseits konnte die Frequenz bezogen auf die jeweilige Intervallzeit, andererseits bezogen auf die gesamte Beobachtungszeit errechnet werden. Die **Frequenz der MÖ-Bewegungen innerhalb der Intervallzeit** lag in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich im Allgemeinen bei 13 MÖ-Bewegungen ($\bar{x} = 12,6$; IQR = 6,2) und in den darauffolgenden Minuten bei sechs MÖ-Bewegungen ($\bar{x} = 6,4$, IQR = 2,5) pro Minute. Hierbei war jedoch kein statistisch relevanter Unterschied zwischen Schweinen mit bzw. ohne Reaktion auf den Reiz auszumachen

($p > 0,05$). Da bei dieser Frequenz unberücksichtigt blieb, dass Schweine möglicherweise erst auf der Nachentblutestrecke anfangen das Maul zu öffnen und andere Tiere bereits wieder damit aufhörten, ist die oben genannte Frequenzberechnung, um einen Vergleich reizpositiver zu reiznegativer Schweine treffen zu können, weniger zielführend als die folgende Berechnung.

Bei Errechnung der **Frequenz der MÖ-Bewegungen auf die gesamte Beobachtungszeit** konnten Unterschiede zwischen Schweinen mit und jenen ohne Reizreaktion ermittelt werden. Mastschweine, die sich auf den Reiz hin bewegten, wiesen in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich im Allgemeinen acht MÖ-Bewegungen pro Minute ($\bar{x} = 7,8$; IQR = 5,3) auf. Dies stellte eine deutliche höhere Frequenz dar, als sie bei reiznegativen Schweinen ermittelt werden konnte ($p < 0,001$). Diese zeigten im Allgemeinen fünf MÖ-Bewegungen pro Minute ($\bar{x} = 5,1$; IQR = 4,6). In der Zeit 3 bis 4 Minuten nach Entblutestich lag die Frequenz bei Schweinen mit anschließender Reaktion auf den Reiz im Allgemeinen bei sechs MÖ-Bewegungen ($\bar{x} = 5,9$; IQR = 2,6) und bei den Tieren ohne Reizreaktion bei vier MÖ-Bewegungen ($\bar{x} = 4,4$; IQR = 3,2) pro Minute. Der Vergleich erbrachte ebenfalls einen statistisch relevanten Unterschied ($p < 0,001$). Die genannten Ergebnisse sind in den Abb. 39 und 40 dargestellt.

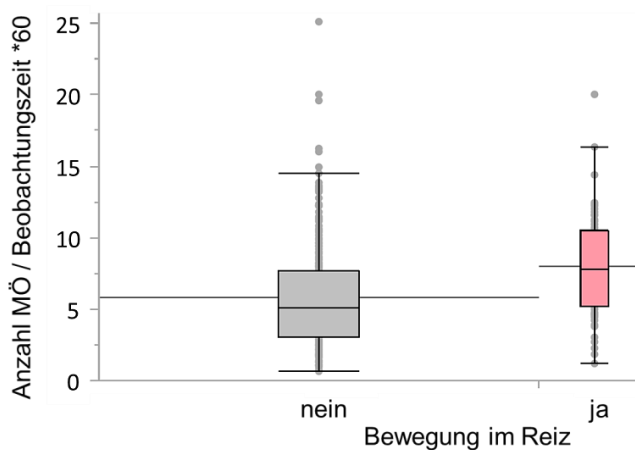


Abb. 39: Frequenz/Minute spontaner Maulöffnungs-Bewegungen je Reizergebnis in den Minuten 1 bis 2 nach Entblutestich auf die Gesamtbeobachtungszeit berechnet, Schlachthof B
MÖ = „Maul öffnen“

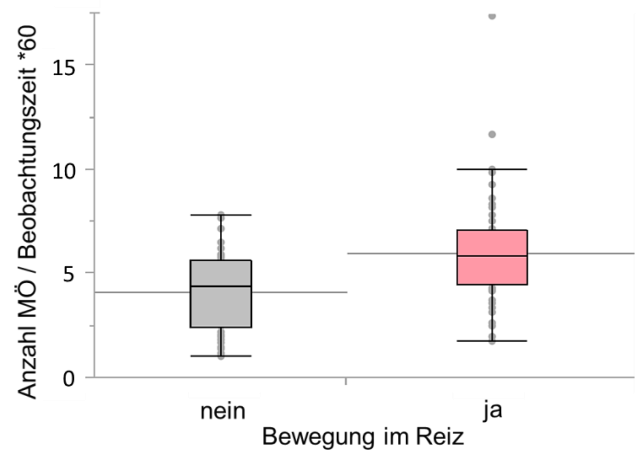


Abb. 40: Frequenz/Minute spontaner Maulöffnungs-Bewegungen je Reizergebnis in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich auf die Gesamtbeobachtungszeit berechnet, Schlachthof A
MÖ = „Maul öffnen“

Bei Betrachtung des **zeitlichen Abstands zwischen letzter MÖ-Bewegung und Beobachtungsende** war dieser bei reizpositiven Schweinen deutlich geringer als bei reiznegativen Tieren ($p_{\text{min } 1-2} < 0,001$; $p_{\text{min } 3-4} < 0,001$). Diejenigen Tiere ohne Reaktion auf den Reiz hatten auf der Nachentblutestrecke tendenziell früher aufgehört das Bewegungsmuster zu zeigen als solche mit einer Reiz-Reaktion. Hierdurch erklärt sich auch der Unterschied der zwei ermittelten MÖ-Frequenzen, innerhalb der Intervalle und innerhalb der gesamten Beobachtungszeit. In den ersten zwei Minuten nach Entblutestich lagen bei reizpositiven Schweinen im Allgemeinen vier Sekunden zwischen letzter Maulöffnung und Beobachtungsende ($\bar{x} = 4,0$; IQR = 10,0). In den darauffolgenden zwei Minuten der Nachentblutestrecke war die Zeit bei diesen Tieren ebenfalls mit

vier Sekunden errechnet worden ($\bar{x} = 4,0$; IQR = 5,0). Dies gibt einen sicheren Hinweis darauf, dass reizpositive Tiere mit spontaner MÖ-Bewegung kontinuierlich bis zum Ende der Beobachtungszeit das Bewegungsmuster ausgeführt hatten. Bei den reiznegativen Schweinen lagen in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich im Allgemeinen 24 Sekunden ($\bar{x} = 24,0$; IQR = 36,5) zwischen letzter MÖ-Bewegung und Beobachtungsende und in darauf folgenden Minuten 14 Sekunden ($\bar{x} = 14,0$; IQR = 52,0). Die relativ großen Interquartilsabstände aller vier Ergebnisse zeigen deutlich, wie inhomogen sich das das Bewegungsmusters „Maul öffnen“ jeder Gruppe verhielt.

Im Folgenden wurden die Ergebnisse der **Mediane der Intervallabstände** zwischen zwei MÖ-Bewegungen der entsprechenden Schweine je nach Reiz-Ergebnis untersucht. Tiere, die in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich das Maul spontan geöffnet hatten, zeigten unabhängig von ihrer Reaktion im Reiz am Anfang der Nachentblutestrecke Intervallabstände von im Allgemeinen fünf Sekunden ($\bar{x} = 5,0$; IQR = 3,5). In den ersten zwei Minuten nach Entblutestich waren kein statistisch auswertbaren Unterschiede zwischen reizpositiven gegenüber reiznegativen Tieren festgestellt worden ($p > 0,05$). Im Vergleich hierzu ergaben sich in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich durchaus statistische Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen. Vergleicht man die Mediane der einzelnen Intervallabstände der MÖ-Bewegungen von Schweinen mit Reizbewegung versus jenen ohne, fällt auf, dass erstgenannte auf der Nachentblutestrecke drei bis vier Minuten nach Entblutestich kürzere Abstände zwischen zwei MÖ-Bewegungen aufwiesen als zweitgenannte ($p < 0,05$). Bei reizpositiven Schweine lag der mediane Wert aller erfassten Intervalle im Allgemeinen bei zehn Sekunden ($\bar{x} = 9,8$; IQR = 5,0) und bei reiznegative bei 12 Sekunden ($\bar{x} = 12,0$; IQR = 3,4). Abb. 41 und 42 zeigen die genannten Ergebnisse.

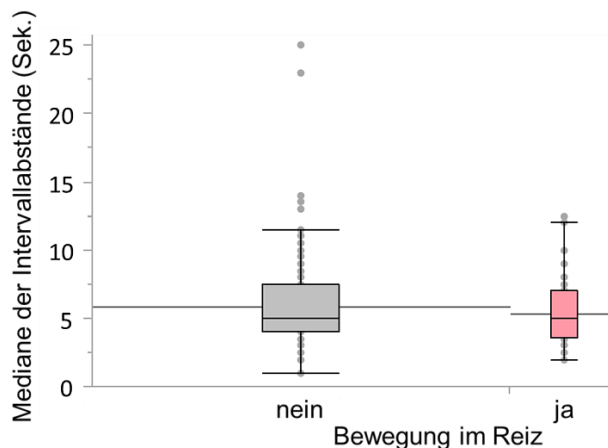


Abb. 41: Mediane Intervallabstände spontaner Maulöffnungs-Bewegungen je Reizergebnis in den Minuten 1 bis 2 nach Entblutestich, Schlachthof B

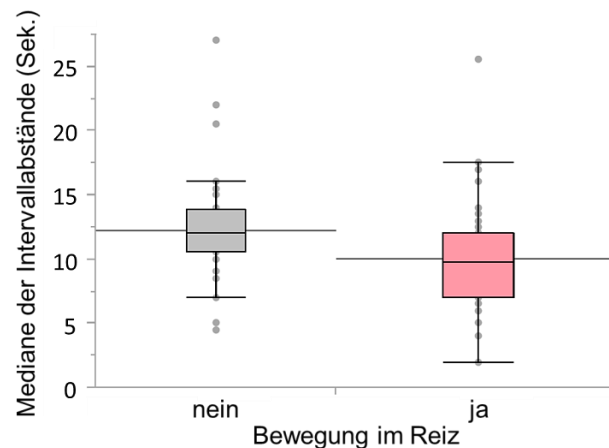


Abb. 42: Mediane Intervallabstände spontaner Maulöffnungs-Bewegungen je Reizergebnis in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich,, Schlachthof A

Im Folgenden wurden die **kleinsten und größten Intervallabstände** der reizpositiven bzw. reiznegativen Schweine untersucht. In den ersten zwei Minuten nach Entblutestich wiesen alle

Schweine, die das Maul spontan öffneten, einen minimalen Intervallabstand von im Allgemeinen drei Sekunden ($\bar{x} = 3,0$; IQR = 3,0) und einen maximalen Intervallabstand von zehn Sekunden ($\bar{x} = 10,0$; IQR = 5,6) auf. Ein statistisch relevanter Unterschied zwischen reizpositiven bzw. reiznegativen Schweinen war in den Minuten 1 bis 2 nach Entblutestich weder bei den Minimal-, noch bei den Maximal-Werten feststellbar ($p > 0,05$). In den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich wiesen die reizpositiven Mastschweine jedoch kürzere minimale Intervallabstände zwischen zwei MÖ-Bewegungen auf, als reiznegative Schweine ($p < 0,01$). Erstgenannte zeigten minimale Intervallabstände von im Allgemeinen sieben Sekunden ($\bar{x} = 7,0$; IQR = 5) und zweitgenannte von zehn Sekunden ($\bar{x} = 10,0$; IQR = 5,0). Bei den Maximalwerten war zwischen den beiden Gruppen auch in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich kein Unterschied feststellbar ($p > 0,05$). Die maximalen Intervallabstände zwischen zwei MÖ-Bewegungen betrugen hier im Allgemeinen jeweils 15 Sekunden ($\bar{x} = 15,0$; IQR = 6,7). Um ein praxisrelevantes Ergebnis zu liefern, wurde eine Obergrenze der Intervallabstände festgelegt. Schweine mit einem Intervallabstand von weniger als 15 Sekunden waren laut den Ergebnissen der Untersuchungen einer größeren Gefahr ausgesetzt am Ende der Nachentblutestrecke positiv auf den Reiz „Heißwasser“ zu reagieren, als solche mit Intervallabständen über 15 Sekunden. Die Abb. 43 und 44 stellen die Ergebnisse der Intervallminima auf der Nachentblutestrecke dar.

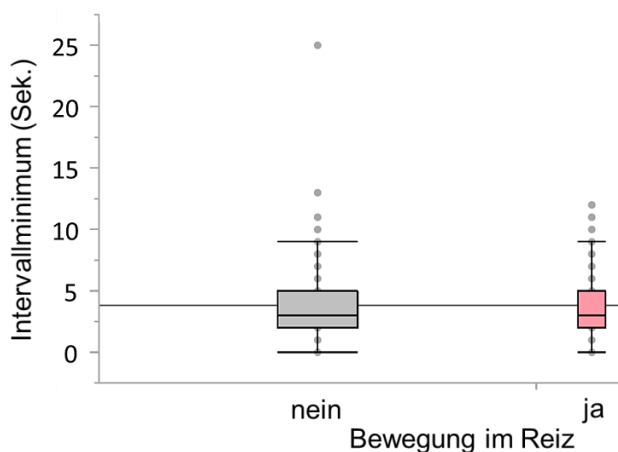


Abb. 43: Intervallminimum spontaner Maulöffnungs-Bewegungen je Reizergebnis in den Minuten 1 bis 2 nach Entblutestich, Schlachthof B

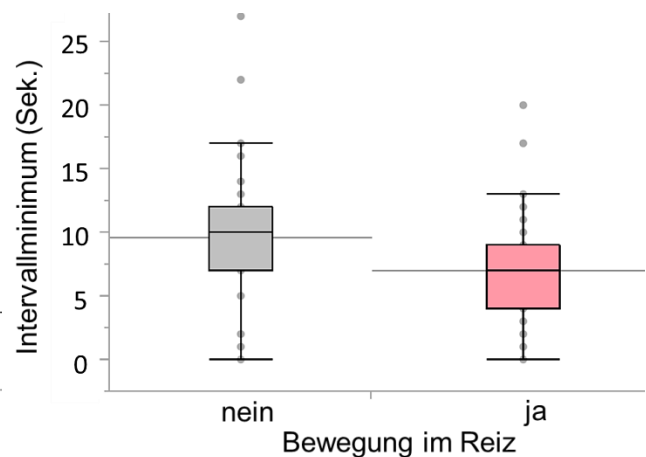


Abb. 44: Intervallminimum spontaner Maulöffnungs-Bewegungen je Reizergebnis in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich, Schlachthof A

Die Annahme, dass Schweine, die auf den Heißwasser-Reiz reagierten, auch tendenziell häufiger regelmäßige spontane MÖ-Bewegungen vor der Reisanlage zeigten, bestätigte sich durch die Untersuchungen nicht ($p > 0,05$). Für eine genauere Betrachtung wurden die jeweiligen Standardabweichungen innerhalb der Intervalle der MÖ-Bewegungen errechnet. Bei großer Standardabweichung ist von einem unregelmäßigen Auftreten der Bewegung, bei einer kleinen Abweichung von einer tendenziell regelmäßigeren MÖ-Bewegung auszugehen. Es stellte sich heraus, dass sowohl reizpositive wie reiznegative Mastschweine, in den ersten zwei Minuten bzw. in den darauf folgenden zwei Minuten nach Entblutestich stets MÖ-Bewegungs-Intervalle aufwiesen, die im Schnitt um zwei Sekunden voneinander abwichen ($\bar{x} = 2,0$; IQR = 2,3).

Ebenso konnte kein statistisch erkennbarer Unterschied im sogenannten „Intervallverhalten“ festgestellt werden ($p > 0,05$). Unabhängig von den Beobachtungen während der Reizapplikation, wiesen die Tiere, die vor der Reizanlage spontanes „Maul öffnen“ gezeigt hatten, in gleichem Maße schneller werdende, wie gleich bleibende, wie langsamer werdende zeitliche Abstände zwischen den MÖ-Bewegungen auf. Bei dieser Betrachtungsweise wurde jeweils das erste Intervall vom letzten abgezogen.

Ebenso war in der Erkennbarkeit der Bewegungen kein statistisch relevanter Unterschied zwischen den reizpositiven wie reiznegativen Schweinen feststellbar ($p > 0,05$). In den ersten zwei Minuten nach Entblutestich war das Bewegungsmuster „Maul öffnen“ in 63 % ($n = 239$) der Fälle als „leicht erkennbar“ und in 37 % ($n = 140$) als „schwer erkennbar“ dokumentiert worden. In den darauffolgenden zwei Beobachtungsminuten ließen sich ähnliche Verhältnisse ermitteln. 78 % ($n = 77$) der Tiere mit der Bewegung „Maul öffnen“ waren für die Untersucher leicht und 22 % ($n = 22$) nur bei eingehender Betrachtung zu detektieren.

Alle Ergebnisse der spontanen MÖ-Bewegungen sind in den Tab. 32 und 33 im Anhang noch einmal übersichtlich dargestellt.

4.4 Bewegungen beim Anschlingen in Abhängigkeit vom Reizergebnis

In Schlachthof B war es möglich die Tiere während des Anschlingens zu beobachten. Hierbei zeigte sich, dass 8 % ($n = 217$) der untersuchten Tiere während dieser Prozedur mit mindestens einem Hinterbein deutlich erkennbar ausschlugen. Abb. 55 a-c im Anhang zeigt ein Schwein mit deutlicher Reaktion auf das Anschlingen. Von jenen 217 Schweinen zeigten am Ende der Nachentblutestrecke noch 19 % ($n = 42$) eine Bewegung auf den Heißwasser-Reiz. Im Gegensatz dazu waren nur bei 4 % ($n = 93$) der Schweine ohne Reaktion auf das Anschlingen eine Bewegungen auf den Heißwasser-Reiz dokumentiert worden. Demnach zeigten Schweine, die auf das Anschlingen mit einem Ausschlagen mindestens eines Hinterbeins reagierten, deutlich häufiger eine Bewegung auf den Reiz „Heißwasser“, als solche Tiere, die sich ohne Schwierigkeiten anschlingen ließen ($p < 0,001$).

4.5 Elektrische Nachbetäubung in Abhängigkeit vom Reizergebnis

In Schlachthof B wurden während der Zeit der Untersuchungen des Hauptversuchs 4 % ($n = 108$) der Schweine in den ersten drei Minuten nach Entblutestich elektrisch nachbetäubt. Nach den hier dargestellten Untersuchungen zeigten jedoch noch 9 % ($n = 10$) der mittels reiner Kopfdurchströmung nachbetäubten Tiere am Ende der Nachentblutestrecke eine Bewegung auf den Heißwasser-Reiz. Nicht nachbetäubte Schweine wiesen im Vergleich in 5 % ($n = 125$) der Fälle eine Reaktion auf den Schmerzreiz auf. Nachbetäubte Mastschweine waren nach dieser Untersuchung häufiger reizpositiv, als solche die nicht nachbetäubt werden mussten ($p < 0,05$).

4.6 Schlussfolgerungen und Lösungsvorschläge für die Praxis

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Arbeit stickpunktartig zusammengefasst und Schlussfolgerungen für eine praxisrelevante Anwendung gezogen:

- Trotz moderner Betäubungs- und Entblutungsverfahren kam es während der hier dargestellten Untersuchungen zu tierschutzrelevanten Befunden auf der Nachentblutestrecke: 3,8 % der untersuchten Mastschweine reagierten vier bis fünf Minuten nach Entblutestich auf den Schmerzreiz „Heißwasser“.
- Die Anzahl der Bewegungsmuster bzw. Reaktionen war begrenzt und ließ sich in Schweregrade einteilen. In abnehmender Reihenfolge waren die folgenden Bewegungsmuster mit positiven Gehirnnerven-Befunden assoziiert: „Kopf schütteln“, „Tonisch dorsales Strecken“, „Strampelnde Vordergliedmaße“, „Hochziehen Kopf/Nacken“, „Beugen Karpalgelenk“, „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“, „Maul öffnen“, „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ und „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“.
- Bei der Analyse der Bewegungsmuster-Kombinationen fiel auf, dass die isoliert gezeigte Reaktion „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ in keinem Fall (n = 59) mit einem positiven Gehirnnerven-Befund verbunden war.
- Heißwasser ist ein geeigneter diagnostischer Test zum Auffinden von hirnstammpositiven Schweine am Ende der Nachentblutestrecke (Sensitivität: 99 %, Spezifität 100 %).
- Während der hier dargestellten Untersuchungen konnte die Bolzenschussnachbetäubung zielführend eingesetzt werden. Alle am Ende der Nachentblutestrecke nachbetäubten Schweine wiesen hinterher negative Gehirnnerven-Befunden auf.
- Spontanbewegungen auf der Nachentblutestrecke kamen besonders häufig bei Schweinen vor, die kurz vor Beginn weiterer Schlachtarbeiten auf den Heißwasser-Reiz reagierten.
- Alle reizpositiven Schweine hatten in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich das spontane Bewegungsmuster „Maul öffnen“ gezeigt. Insbesondere Tiere mit einem minimalen Intervallabstand von unter 15 Sekunden zwischen zwei Maulöffnungs-Bewegungen reagierten hinterher besonders häufig auf den Schmerzreiz.
- Eine alleinige Berücksichtigung der Spontanbewegungen ohne abschließende Heißwasser-Reizung kann dem Tierschutz nicht zu 100 % dienlich sein. Hätte man in den Untersuchungen alle 143 Mastschweine, die am Ende der Nachentblutestrecke reiz- und/oder hirnstammpositiv waren und gleichzeitig in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich spontanes „Maul öffnen“ gezeigt hatten, aus dem Schlachtband heraus sortiert, hätten sich noch 57 Tiere während der Heißwasser-Reizapplikation bewegt. Ohne Einsatz der Heißwasser-Reizapplikation wären somit, hochgerechnet auf die Anzahl aller untersuchten Schweine, ein % (n = 57) der reizpositiven Schweine nicht aufgefallen.

Zum Zwecke der Erkennung möglichst aller Schweine, bei denen am Ende der Nachentblutestrecke nicht ausgeschlossen werden konnte, dass sie noch Hirnstammfunktionen inne hatten, erscheint eine **Kombination aus Kontrolle der Spontanbewegungen der Schweine und einem abschließenden Test mittels Heißwasser am Ende der Nachentblutestrecke** sinnvoll.

Abschließend erstellte die Autorin, mit Hilfe der neu gewonnen Erkenntnisse und bereits vorhandener Literatur, Arbeitsanweisungen, die sich einerseits an das Überwachungspersonal und andererseits an das Schlachthofpersonal im unreinen Bereich der Schlachtung richten sollen (ATKINSON et al. 2012, ANON. 2013a, EFSA 2013, GRANDIN 2013 und ANON. 2014b, VERHOEVEN et al. 2015):

- **Arbeitsanweisungen für das Überwachungspersonal**, ersichtlich in Abb. 56 im Anhang: Je nach Befund wurden die Schweine in sogenannte „Risiko-Levels“ eingeordnet. Hierbei galt: Je höher das „Risiko-Level“ für das entsprechende Tier ausfällt, desto eindeutiger erscheint die Notwendigkeit einer sofortigen Nachbetäubung bzw. Tötung dieses Schweins mittels Bolzenschuss. Eine abschließende Kontrolle der Schweine durch die Heißwasser-Reizprüfung wird unabhängig von der Einteilung der Schweine in die Risiko-Levels vorgeschlagen. In Abb. 57 im Anhang wurde die Graphik ergänzend in die englische Sprache übersetzt.
- **Arbeitsanweisungen für das Schlachthofpersonal**, ersichtlich in Abb. 58 im Anhang: Während der Untersuchungen zur Entwicklung des Reizverfahrens wurde die Autorin wiederkehrend darauf hingewiesen, dass ein großes Wissensdefizit unter dem Schlachthofpersonal in Bezug auf eine sichere Kontrolle der Spontanbewegungen besteht. Die Interpretation vorkommender Bewegungen der Schweine scheint trotz vorhandener Literatur nicht einheitlich verstanden zu sein. Zusätzlich fiel auf, dass eine oftmals vorhandene sprachliche Barriere die Kommunikation erschwerte. An den aufgesuchten Schlachtbetrieben arbeitete im Bereich der unreinen Seite zumeist ausländisches Personal mit teilweise geringen Deutschkenntnissen. Aufgrund dessen war es Ziel der Autorin dem Schlachthofpersonal möglichst einfach zu verstehende und durch Zeichnungen visualisierte Arbeitsanweisungen an die Hand zu geben. Die Zeichnungen sind ebenfalls auf die Beobachtung von Schweinen während der Heißwasser-Reizapplikation am Ende der Nachentblutestrecke übertragbar. Auch diese Graphik wurde in die englische Sprache übersetzt und im Anhang der Arbeit beigelegt; siehe Abb. 59.

5 Diskussion

5.1 Vorversuch: Reizung mittels Heißwasser, Kaltwasser und Strom

Im Vorversuch wurden drei Reize, „Heißwasser“, „Kaltwasser“ und „Strom“, auf deren Funktionalität hin untersucht. Aufgrund der aufwändigen Versuchsdurchführung konnten je Reizverfahren nur relativ geringe Datenmengen erhoben werden. Nichtsdestotrotz war der Vorversuch eine entscheidende Hilfestellung bei der Findung des geeigneten Reizverfahrens. Die genauere Untersuchung weiterer Reize wäre sinnvoll gewesen, war jedoch vor allem aus zeitlichen Gründen nicht möglich. Der Einsatz chemischer Reize sollte für zukünftige Untersuchungen ebenfalls diskutiert werden (KOBAL 1985 und ANTON et al. 1992).

Um die verwendeten Reize vergleichbar zu machen wurden entsprechende Bewertungsparameter bestimmt. Der Reiz „**Heißwasser**“ schnitt hierbei am besten ab. Alle Schweine, die positiv auf die Gehirnnerven-Untersuchung reagierten, hatten sich während der Reizapplikation erkennbar bewegt. Jedoch waren nur etwas mehr als die Hälfte der Schweine, die sich im Reiz bewegt hatten, auch in der Gehirnnerven-Untersuchung positiv identifiziert worden. Es hatten sich während der Reizapplikation demnach relativ viele Tiere bewegt, von denen man dies nicht unbedingt erwartet hätte. Im Hauptversuch errechnete sich ein ähnliches Ergebnis, das in Kapitel 5.2.13 diskutiert wird. Zufriedenstellend war der Befund, dass alle Schweine, die nicht auf den Reiz reagiert hatten, auch tatsächlich hirnstammnegativ beurteilt wurden. Auch laut Literatur (TROEGER und MEILER 2006) war der Schmerzreiz „Heißwasser“ als Prüfmedium bereits erfolgreich im Einsatz gewesen. Des Weiteren appelliert GRANDIN (2013), dass ein korrekt betäubtes und demnach empfindungs- und wahrnehmungsloses Tier beim ersten Kontakt mit dem heißen Wasser der Brühanlage keinerlei Bewegungen zeigen darf. Eine Reaktion der Schweine auf einen Heißwasser-Reiz ist nach genannter Literatur somit nicht mit einem korrekt ablaufenden Sterbeprozess oder mit dem sicher eingetretenen Tod der Tiere vereinbar.

Der Reiz „**Strom**“ erbrachte weniger erfolgsversprechende Ergebnisse als „Heißwasser“. Etwas weniger als 3/4 der Schweine, die sich im Reiz bewegt hatten, wurden auch in der folgenden klinischen Untersuchung als hirnstammpositiv identifiziert. Zunächst wirkt dieses Ergebnis des positiven prädiktiven Wertes vielversprechender als jenes, das für den Heißwasser-Test ermittelt wurde. Jedoch, nur etwa 75 % der Schweine, die positiv auf die Gehirnnerven-Untersuchung reagierten, hatten sich auch während der Reizapplikation bewegt. Bei der Interpretation von Stromreiz induzierten Bewegungen muss beachtet werden, dass sich die Muskulatur eines Schlachttieres auch nach dessen Tod noch eine gewisse Zeit lang kontrahieren kann. Diese Tatsache macht sich die Fleischindustrie im Bereich der elektrischen Stimulation post mortem zu Nutze (PETCH 2001). Die Wirkung des Strom-Reizes kann verglichen werden mit der Niedervolt-Elektrostimulation, wie sie an Rinderschlachtkörpern zur Verbesserung der Ausblutung eingesetzt wird. Bei diesem Verfahren wird eine Klammer- oder Stabelektrode, ähnlich der im Versuch, um das Flotzmaul platziert (TROEGER 2007). Die Frequenz des Stromflusses bei der Elektrostimulation liegt jedoch bei 15 bis 20 Hertz, nicht wie im Vorversuch bei 400 Hertz. Durch die Elektrostimulation werden Ca^{2+} -Ionen freigesetzt, die zu einer

Muskelkontraktion führen. Die richtige Interpretation der Reaktionen der Tiere nach einer elektrischen Schmerzreizung im Kopfbereich ist demnach nicht einfach, da es neben der Reizung des sensiblen nervus trigeminus auch zur Mitreizung der fazialisversorgenden Muskulatur kommen kann (VOGEL 2011). Bei der elektrischen Reizung, wie sie im Vorversuch eingesetzt wurde, können demnach rein strom-induzierte Muskelkontraktionen zu Bewegungen der Schweine geführt haben. Die Untersucher versuchten diese kurzzeitigen Muskelkontraktionen von echten, sensitiven Reaktionen zu differenzieren. Dies stellte sich jedoch teilweise als schwierig heraus, da die Übergänge hierbei fließend waren. So kann nicht ausgeschlossen werden, dass manche Beobachtungen von den Untersuchern falsch positiv oder falsch negativ dokumentiert wurden. Zusätzlich weist TROEGER (2007) darauf hin, dass die Elektrostimulation bei Jungrindern zu einer Abweichung der Fleischqualität führen kann. Diese ähnelt nach seinen Angaben denen des PSE-Fleisches – pale, soft, exsudative – von Schweinen. Die Gefahr, dass insbesondere Schweinefleisch nach Elektrostimulation ähnliche Qualitätsabweichungen erfahren kann, beschreiben unter anderem auch BINKE (2003) und DEISS-HEMMETER (2005). In den vorliegenden Untersuchungen wurde die Fleischqualität post mortem nicht untersucht. Jedoch kann die Vermutung geäußert werden, dass es bei einer Strom-Reizung, wie sie in den Voruntersuchungen eingesetzt wurde, in einigen Fällen zu den oben genannten Abweichungen in der Fleischqualität gekommen sein könnte. Der Ausschluss des elektrischen Reizes aus den weiteren Untersuchungen ist aus genannten Gründen zu rechtfertigen.

Kaltwasser als mögliches Reizmedium, wurde ebenfalls ausgeschlossen, da es im Vergleich zu den anderen zwei Reizen die schlechtesten Ergebnisse lieferte. Etwa 35 % der hirnstammpositiv diagnostizierten Schweine blieben während der Kaltwasser-Reizapplikation unbewegt. Hätte kaltes Wasser als Prüfmedium besser funktioniert, wäre dieses Medium aus Sicht des Tierschutzes bevorzugt automatisiert worden. Der Einsatz des Reizes wurde als Prüfmedium gewählt, da kaltes Wasser unter 20 °C in der Literatur beim Menschen als unangenehm bis schmerzhaft empfunden wird (HANDWERKER 2006). Zudem finden sich auch Schriften dahingehend, dass kaltes Wasser einen gewissen analgetischen Effekt auf exponierte Tiere haben kann (BODNAR et al. 1979). Dieser könnte dazu geführt haben, dass die untersuchten Schweine trotz positiver Gehirnnerven-Befunde auf den Kaltwasser-Reiz nicht reagiert hatten. Der Ausschluss des kalten Wassers als mögliches Reizmedium ist aufgrund der nicht zufrieden stellenden Ergebnisse zu rechtfertigen.

Trotz der scheinbaren Unterschiede der drei Reize, bestätigten sich diese in der statistischen Berechnung nicht. Nichtsdestotrotz, im Hinblick auf den Tierschutz ist primär die Sensitivität des Testsystems entscheidend. Kein Schwein, das positive Gehirnnerven-Befunde aufweist, sollte während der Reizapplikation unentdeckt bleiben. Die Sensitivität des Heißwasser-Reizes war im Vergleich zu den anderen zwei Verfahren am höchsten, was die Wahl dieses Reizes für den Hauptversuch bereits rechtfertigt. Des Weiteren lag die Vermutung nahe, dass die nicht signifikant verschiedenen Ergebnisse aufgrund der relativ niedrigen Datenmenge zustande gekommen waren, so dass den prozentualen Unterschieden durchaus Bedeutung zugesprochen werden konnte. Im Hauptversuch zum Reiz „Heißwasser“ bestätigte sich diese Annahme.

5.2 Hauptversuch: Reizapplikation mittels Heißwasser

Literatur zum Einsatz eines Heißwasser-Reizes zum Zwecke einer Todeskontrolle bei Schlachtschweinen, wie im vorliegenden Umfang, konnte nicht gefunden werden. Lediglich TROEGER und MEILER (2006) hatten heißes Wasser als schmerzhaften Reiz in einer Machbarkeitsstudie an 4.127 Schweinen nach CO₂- und Elektro-Betäubung eingesetzt. Die Anzahl untersuchter Tiere nach Elektrobetäubung lag jedoch lediglich bei 163 Schweinen. In der Studie wurde die Reisanlage bereits zwei bis drei Minuten nach dem Entblutestich positioniert, so dass die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit jenen nur eingeschränkt vergleichbar sind. Die Autoren gaben an, dass ein % der untersuchten Schweine, unabhängig vom Betäubungsverfahren, auf der Nachentblutestrecke Anzeichen wiedererlangter oder erhaltener Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit aufwiesen. Sie bestätigten hiermit bereits veröffentlichte Daten anderer Untersuchungen (SCHÜTTE und BOSTELMANN 2001 und TROEGER et al. 2005). Bei jenen Schweinen wurde aufgrund ihrer eindeutigen Reaktionen vermutet, dass Herzkammerflimmern während der Kopf-Herz-Durchströmung nicht immer ausgelöst worden war, da dieses normalerweise zum baldigen Tod der Schweine führt (HOENDERKEN et al. 1980 und WOTTON und GREGORY 1986). Bei der vorliegenden Untersuchung, bei der am Ende der Nachentblutestrecke noch Schweine diagnostiziert wurden, die auf den Reiz „Heißwasser“ reagierten, kann ebenfalls vermutet werden, dass die Betäubungswirkung ein nicht immer irreversibles Stadium der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit ausgelöst hatte. Möglicherweise falsch platzierte Elektroden im Herzbereich, vor allem bei fehlender Fixierung der Tiere während der Betäubung, könnten hierfür ein Grund gewesen sein (VELARDE et al. 2000). Jedoch sollten auch die Stromparameter berücksichtigt werden. Gerade in Schlachthof B wurde bei der Kopf-zu-Herz-Durchströmung eine relative hohe Frequenz von 100 Hertz angewendet. Bekannt ist, dass niedrigere Frequenzen, z. B. 50 Hertz, das Herzkammerflimmern sicherer hervorrufen können, als höhere Frequenzen (TROEGER 2007). Die gesetzlich vorgeschriebenen Voreinstellungen der Stromparameter waren nichtsdestotrotz an allen Schlachtbetrieben eingehalten worden und die Elektroden in einem guten und sauberen Zustand vorgefunden.

Laut den Messungen mittels Elektrokortikogrammen von WOTTON und GREGORY (1986) verursacht ein korrekter Entblutestich innerhalb von 19 Sekunden die Reaktionslosigkeit des Gehirns von Läuferschweinen. Die Ergebnisse dieser Arbeit weisen jedoch darauf hin, dass die Entblutung der Mastschweine deren baldigen Tod nicht immer sicherstellen konnte. Hierbei sei des Weiteren auf die Veröffentlichungen von ANIL et al. (2000), TROEGER et al. (2005), TROEGER (2010c) und GRANDIN (2012) sowie auf die Dissertation von MEILER (2006) hingewiesen. Diese stellen eingehend die Wichtigkeit der Qualität der Entblutung, insbesondere der gewählten Messergrößen und -längen dar. In den vorliegenden Untersuchungen waren die Stechmessergrößen und -arten je Schlachthof dokumentiert worden. Auffällig wird beim Vergleich des Vorkommens reiz- bzw. hirnstammpositiver Schweine je Schlachthof, dass in Schlachthof C das kürzeste Stun-to-Stick Intervall dokumentiert wurde. Nach TROEGER (2007) ist gerade ein möglichst schnelles Entbluten der Schweine nach Betäubungsende wichtig, „um den direkten Übergang der Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit in den Tod durch Blutverlust zu gewährleisten“. Des Weiteren wurden in Betrieb C auch deutlich längere

Stechmesser, als an den zwei anderen Betrieben verwendet. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen sicherem Todeseintritt und Stechmesserlänge konnte mit dieser Untersuchung jedoch nicht bewiesen werden. TROEGER (2010c) wies darauf hin, dass bei Schweinen, die kurz vor Ende der Nachentblutestrecke ihre Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit wiedererlangen, primär um solche handelt, die entweder gar nicht, oder nur schlecht gestochen wurden. Schweine, bei denen der Entblutestich vergessen wurde, waren bei den hier beschriebenen Untersuchungen in Betrieben mit elektrischer Betäubung nicht vorgekommen. An einem Betrieb mit CO₂-Betäubung wurde jedoch in einem Fall ein Schwein dokumentiert, das am Ende der Nachentblutestrecke keinen Entblutestich aufwies (SCHREIBER 2016). Trotz moderner Schlachtmethode kommt es also immer noch vor, dass der Entblutestich vergessen wird. TROEGER (2010b) spricht davon, dass die industrielle Verwendung von Hohlmessersystemen eine visuelle Entblutekontrolle kaum ermöglicht. Im vorgestellten Forschungsvorhaben bei elektrisch betäubten Schweinen war lediglich in Schlachthof A ein Hohlmessersystem zum Einsatz gekommen. Es kann vermutet werden, dass das Vorkommen von nicht-toten Schweinen am Ende der Nachentblutestrecke an diesem Betrieb unter anderem auf die nicht vorhandene visuelle Entblutekontrolle zurückzuführen ist. Aufgrund des bereits vorliegenden Wissensstandes und der in dieser Schrift dargestellten Erkenntnisse wird deutlich, wie wichtig zusätzlich zur sicheren Kontrolle der Betäubung und der Entblutung eine abschließende Todeskontrolle der Schlachtschweine am Ende der Nachentblutestrecke ist.

5.2.1 Vorkommen von Bewegung während der Heißwasser-Reizapplikation

3,8 % der untersuchten Mastschweine hatten im Hauptversuch während der Heißwasser-Reizapplikation eine erkennbare Bewegung gezeigt. Laut der deutschen Tierschutz-Schlachtverordnung, die in § 12 angibt, dass Bewegungen der Schlachttiere am Ende der Nachentblutestrecke nicht tolerierbar sind, waren diese Tiere demnach nicht tierschutzkonform geschlachtet worden (ANON. 2012d). Näher wird hierauf in Kapitel 5.2.3 eingegangen.

Im Vergleich der zwei Versuchsreihen in Schlachthof B wurde kein Unterschied zwischen der Reizdauer mit 15 bzw. fünf Sekunden festgestellt. Daraus kann geschlossen werden, dass eine kurze Reizung mittels Heißwasser ausreichend ist, um bewegungsfähige Tiere zu einer Reaktion zu „animieren“. Im Sinne des Tierschutzes ist dieses Ergebnis erfreulich, da der Einsatz eines möglichst kurzen Schmerzreizes zur Prüfung des eingetretenen Todes gegenüber einem längeren zu bevorzugen ist.

Das einzige Schwein, das in Schlachthof C auf den Reiz reagiert hatte, war kurz vorher mittels Bolzenschussbetäubung nachbetäubt bzw. getötet worden. Es kann vermutet werden, dass die registrierten Bewegungen während der folgenden Reizapplikation aufgrund der Wirkung des Bolzenschusses zustande gekommen waren. Werden Schweine zur Erstbetäubung mittels Bolzenschuss betäubt zeigen sie heftige exzitatorische Bewegungen der Gliedmaßen (GREGORY 2007). Möglicherweise lagen die Bewegungen des Schweines nach der Bolzenschuss-Nachbetäubung diesen unbewussten Muskelkontraktionen zugrunde.

Ein Unterschied zwischen Schlachthof A und B war in Bezug auf das Vorkommen von Reaktionen auf den Reiz ermittelt worden, nicht jedoch in Bezug auf die Befunde der klinischen

Untersuchung der Gehirnnerven. Es stellt sich also die Frage, woran es liegen kann, dass sich auf den Reiz hin trotzdem mehr Schweine in Schlachthof B als in Schlachthof A bewegt hatten. In allen Versuchen wurde die standardisierte Einstellung der Temperatur und Reizdauer des Heißwasser-Reizes sichergestellt. Die Versuche unterlagen jedoch einem dynamischen Entwicklungsprozess der Reisanlage. Die Reizapplikations-Anlagen wurden nach jedem Versuch kritisch diskutiert und entsprechend weiterentwickelt. Aufgrund dessen sah die Anlage an jedem Betrieb etwas unterschiedlich aus. Unter anderem wurde der Düsenstock der Anlagen im Laufe der Versuche optimiert. Nach den Untersuchungen in Schlachthof A war er nicht mehr mit sechs, sondern mit neun Flachstrahldüsen ausgestattet. Die hierfür verwendeten Düsenstockreihen erzeugten nun eine breitere Reizfläche, wodurch die Sicherheit der Reizung der Schweine im Kopfbereich verbessert werden sollte. So wurden die Schweine in Schlachthof B mit einer größeren Wassermenge und dadurch möglicherweise heftiger im Kopfbereich gereizt, als in Schlachthof A, was die genannten Unterschiede erklären könnte. Die bauliche Abweichung der Reisanlagen verringert in gewissem Maße die wissenschaftliche Vergleichbarkeit der Ergebnisse der zwei Betriebe, zumindest was das Vorkommen oder nicht Vorkommen reizpositiver Tiere angeht. Dieser Vergleich war jedoch nie ein Ziel des Forschungsprojektes. Vielmehr sollte der Versuch an verschiedenen Schlachthöfen durchgeführt werden, um einen Überblick über die jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten zu erhalten und die Reisanlage entsprechend weiter zu entwickeln. In einer erneuten und absolut standardisierten Untersuchung an verschiedenen Schlachtbetrieben könnte festgestellt werden, welcher Parameter tatsächlich das Vorkommen oder nicht Vorkommen von reizpositiven Schweinen beeinflusst, z. B. die Reizdauer oder auch die Größe der auftreffenden Fläche des Heißwassers im Kopfbereich der Tiere. Nichtsdestotrotz ist der unterschiedliche relative Anteil reizpositiver Schweine an Schlachthof A und B ein Hinweis dafür, dass ein Unterschied zwischen den Schlachtsystemen der zwei Betriebe vorgelegen haben könnte.

Betrachtet man das Vorkommen von Bewegungen auf den Reiz je Schlachtttag, wird deutlich, dass sowohl in Schlachthof A wie auch in Schlachthof B Diskrepanzen verzeichnet werden konnten. Es war aufgefallen, dass am ersten Untersuchungstag das Vorkommen reizpositiver Schweine zumeist geringer ausfiel, als an den folgenden Tagen. Es kann hierbei angenommen werden, dass sich die Betriebe durch die Anwesenheit fremder Personen zunächst besonders um die tierschutzrelevante Sicherheit ihres Schlachtprozesses bemüht hatten. In den darauf folgenden Tagen trat eine gewisse Gewöhnung an die neue Situation ein und die Schlachtung ging ihren alltäglichen Gang. Die Dauer von Tierschutz-Audits wird in der Regel lediglich für einen Schlachtttag angesetzt und beinhaltet die Untersuchung einer verhältnismäßig geringen Anzahl von Schweinen (GRANDIN 2010, ANON. 2013a, EFSA 2013 und ANON. 2014b). Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung verdeutlichen jedoch, dass eine mehrtägige Anwesenheit von auditierenden Personen im Bereich der unreinen Seite ein realistischeres Bild der jeweiligen Tierschutzsituation der Betriebe liefert, als eine eintägige Kontrolle mit geringer Fallzahl untersuchter Tiere.

5.2.2 Befunde der Gehirnnerven-Untersuchung

Im Vergleich aller drei Schlachthöfe wurde ein durchschnittlicher Anteil von 1,4 % hirnstammpositiver Mastschweine am Ende der Nachentblutestrecke festgestellt. TROEGER

und MEILER (2006) hatten an einem Schlachtbetrieb mit Elektrobetäubung 163 Schweine untersucht. Hierbei wiesen deutlich mehr Schweine positive Gehirnnerven-Befunde auf, als in der vorliegenden Arbeit. In jener Arbeit von TROEGER und MEILER (2006) zeigten zehn % der Schweine eine positive Reaktion ausschließlich auf den Test des Cornealreflexes und weitere 12 % auf die Kombination des Corneal- und Nasenscheidewandreflexes. Jedoch muss betont werden, dass die Gehirnnerven-Untersuchung in dieser Arbeit bereits in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich erfolgt war und nicht wie im vorliegenden Forschungsvorhaben am Ende der Nachentblutestrecke. Außerdem handelte es sich bei den Versuchen der Autoren um eine andere Betäubungsanlage, als in den hier dargestellten Untersuchungen. Weitere ältere Arbeiten, in denen Schweine nach CO₂-Betäubung untersucht worden waren, geben an, dass noch bei etwa einem % der in Deutschland geschlachteten Mastschweine auf der Nachentblutestrecke positive Gehirnnerven-Befunde diagnostiziert werden konnten (SCHÜTTE und BOSTELMANN 2001 und TROEGER et al. 2005). Die Ergebnisse dieser Studien sind allerdings auch nur bedingt vergleichbar mit der hier vorgestellten Arbeit, da die Untersuchungszeitpunkte ebenfalls nicht identisch waren und es sich um teilweise andere Betäubungs- und Stechverfahren handelte.

Vergleicht man die Gehirnnerven-Befunde je Untersuchungstag stellte sich heraus, dass das relative Vorkommen hirnstammpositiver Schweine je Schlachttag sehr unterschiedlich ausfallen kann. In den Schlachthöfen A und B war die relative Häufigkeit hirnstammpositiver Schweine im Vergleich zu den anderen Tagen jeweils am ersten Untersuchungstag am geringsten. Eine Erklärung dafür, warum gerade am ersten Tag weniger häufig hirnstammpositive Schweine diagnostiziert wurden kann, wie bereits angesprochen, nicht sicher gefunden werden.

Bei genauerer Differenzierung der Gehirnnerven-Befunde stellte sich heraus, dass der „Nasenscheidewandtest“ sowohl in Schlachthof A, als auch in Schlachthof B bei durchschnittlich 80 % der Schweine, die mindestens einen positiven Befund in der Gehirnnerven-Untersuchung aufwiesen, diagnostiziert worden war. Bei 70 % aller hirnstammpositiven Tiere war ein positiver Corneal- bzw. Lidschlussreflex identifiziert worden. Demnach wurden bei 20 % der hirnstammpositiven Schweine ausschließlich ein positiver „Augentest“ und bei 30 % ausschließlich ein positiver „Nasenscheidewandtest“ festgestellt. Somit lässt sich nach den Ergebnissen dieser Untersuchung festhalten, dass der „Nasenscheidewandtest“ zur Prüfung der Gehirnnerven-Restfunktionen von Schweinen nach den hier vorgefundenen Betäubungs- und Entblutemethoden besser geeignet ist, als der alleinige Corneal- und Lidschlussreflex. ANIL (1991) wertete den Test der Nasenscheidewand sogar als Indikator für ein offenkundiges Bewusstsein auf. Der Cornealreflex deutet bei ihm zwar auf ein mögliches Wiedererlangen des Sensoriums hin, stellt aber keinen zusätzlichen Nutzen gegenüber der Beobachtung der Atmung dar. Derselbe Autor (ANIL et al. 1997) weist in einer späteren Veröffentlichung darauf hin, dass der Cornealreflex bei elektrisch betäubten Schweinen besonders kurz nach Betäubungsende schwer zu evaluieren ist und deswegen unzuverlässig in seiner Anwendung erscheint. Auch BRIESE (1996) weist dem „Nasenscheidewandtest“ die Überlegenheit gegenüber dem Test des Corneal- bzw. Lidschlussreflexes zu. In den hier vorliegenden Untersuchungen kam es, wie bereits erwähnt, jedoch auch dazu, dass bei den untersuchten Schweinen am Ende der Nachentblutestrecke ausschließlich positive Corneal- und Lidschlussreflexe diagnostiziert

wurden. Aufgrund dessen erscheint eine Kombination aus „Augentest„ und „Nasenscheidewandtest“, wie sie in der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurde, als die sicherste klinische Untersuchungsmethode zur Evaluierung noch vorhandener Hirnstammfunktion. Warum es während den Untersuchungen zu einem Unterschied des Vorkommens von doppelt positiven Befunden in den Schlachthöfen A und B kam, kann unter anderem daran gelegen haben, dass sich die diagnostische Qualität der Untersucher im Laufe des Forschungsvorhabens verbessert hatte. Es kann vermutet werden, dass die Untersucher im Erkennen eines positiven Corneal- bzw. Lidschlussreflexes zunehmend sicherer wurden, je mehr Schweine sie evaluierten. Jedoch sollte diese Aussage als rein subjektive Einschätzung gewertet werden.

5.2.3 Gehirnnerven-Befunde der Schweine in Korrelation mit Reaktionen auf den Heißwasser-Reiz

Die Untersuchung der Gehirnnerven als Referenzmethode zur Evaluierung der Hirnstammfunktionen der Schweine wurde nach heutigem Wissensstand durchgeführt (EFSA 2013 und ANON. 2014b). Sie war demnach eine geeignete Methode zur objektiven Bewertung der Beobachtungen während der Reizapplikation. Betrachtet man nur die reizpositiven Schweine und deren Gehirnnerven-Befunde, lässt sich der Anteil an Tieren ermitteln, der auch auf europäischer Ebene durch die Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 unumstritten nicht als tot zu bezeichnen war (ANON. 2009). Bei einem Säugetier kann nicht von Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit gesprochen werden, wenn bei ihm noch Reaktionen auf einen Schmerzreiz oder positive Gehirnnerven-Reflexe ausgelöst werden können, appelliert die European Food Safety Authority (EFSA 2013). Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit sind mit dem sicheren Todeseintritt mitnichten vereinbar. Nach den vorliegenden Untersuchungen waren demnach mindestens 1,4 % der untersuchten Mastschweine am Ende der Nachentblutestrecke nicht sicher tot und wären demnach erst in den folgenden Schritten der Weiterverarbeitung verstorben. Die Ergebnisse decken sich mit bereits erwähnten Publikationen (SCHÜTTE und BOSTELMANN 2001, TROEGER et al. 2005 und TROEGER und MEILER 2006).

In den vorliegenden Untersuchungen ergab sich, dass über die Hälfte der auf den Heißwasser-Reiz reagierenden Tiere keine positiven Gehirnnerven-Befunde aufwiesen. Hier kann die Vermutung aufkommen, dass der Einsatz eines Kontrollsystems mittels Heißwasser häufig zu falsch positiven Ergebnissen führt. Dem ist jedoch aus Sicht des deutschen Rechts nicht so. Laut Tierschutz-Schlachtverordnung (ANON. 2012c) ist es irrelevant, ob Reiz-Reaktionen mit positiven Gehirnnerven-Befunden assoziiert sind. In Deutschland wird gefordert, dass bei Schweinen vor Beginn weiterer Schlachtarbeiten keinerlei Bewegung mehr wahrzunehmen ist. Auch Reiz-Reaktionen von hirnstammnegativen Schweinen wären demnach nicht mit einer tierschutz-konformen Schlachtung vereinbar. Es kann des Weiteren nicht ausgeschlossen werden, dass die klinische Gehirnnerven-Untersuchung in einigen Fällen falsch negative Befunde dokumentiert hatte. Außerdem ist die Schlussfolgerung, dass die reiz- und hirnstammnegativ diagnostizierten Schweine in der Untersuchung sicher tot waren, nicht gegeben. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass jene Tiere im Laufe der anschließenden Brühung Bewegungs-Reaktionen zeigten, obwohl man sie vorher als unauffällig dokumentiert

hatte. Die Brühung war an keinem der aufgesuchten Schlachtbetriebe konstant einsehbar. Bewertet man alle Tiere, die auf den Reiz oder auf die Gehirnnerven-Untersuchung reagiert hatten, dann läge der Anteil nicht tierschutzkonform geschlachteter Schweine in den Untersuchungen deutlich höher, nämlich bei jenen bereits erwähnten 3,8 %.

Bei genauerer Betrachtung der Gehirnnerven-Befunde ausschließlich der reiz- und hirnstammpositiven Schweine, wird erneut deutlich, wie wichtig die Untersuchung sowohl der Augenpartie, als auch der Nasenscheidewand ist. Lediglich 69 % der reiz- und hirnstammpositiven Schweine wiesen einen positiven „Augentest“ auf. 31 % jener Tiere wären demnach mit einer alleinigen Kontrolle des Corneal- und Lidschlussreflexes nicht aufgefallen. In der Untersuchung von TROEGER und MEILER (2006) zeigten alle Schweine mit positiver Reaktion auf den Test der Nasenscheidewand eine Bewegung während der Heißwasser-Reiz-Prüfung. Dies verdeutlicht noch einmal die höhere Sicherheit des „Nasenscheidewandtests“ gegenüber dem alleinigen „Augentest“.

5.2.4 Erkennbarkeit der Bewegungen während der Heißwasser-Reizapplikation

Die Erkennbarkeit der Bewegungen der Schweine während der Reizapplikation wurde im Hinblick auf die Verwirklichung eines automatisierten Detektionssystems evaluiert. Zufriedenstellenderweise hatten Schweine mit positivem Gehirnnerven-Befund häufiger leicht erkennbare Reaktionen auf den Heißwasser-Reiz gezeigt, als solche mit negativem Befund. Geht man jedoch davon aus, dass ein automatisiertes Detektionssystem nur deutlich ausgeführte Bewegungen, das heißt für den Menschen leicht erkennbare, registrieren kann, würden mittels solch eines automatisierten Verfahrens 14 % der hirnstammpositiv diagnostizierten Schweine unerkant bleiben. Ein automatisiertes System kann demnach nur sicher funktionieren, wenn es selbst feine Bewegungs-Nuancen der Schweine erfassen kann. An Stelle eines automatisierten Verfahrens wäre es jedoch auch denkbar, dass ein geschulter Mitarbeiter im Schlachthof eingesetzt wird, der die Schweine während der Reizapplikation konstant beobachtet. Auch das bsi Schwarzenbek fordert, dass, solange keine Systeme zur automatisierten Entblutekontrolle auf dem Markt sind, die gesamte Nachentblutestrecke vom Anschlinger oder einer anderen Person im Auge gehalten werden muss (ANON. 2013a). Ein regelmäßiges, möglicherweise stündliches Auswechseln dieses beobachtenden Personals muss hierbei jedoch sichergestellt sein, um eine durchwegs hohe Qualität der Sichtkontrolle zu erhalten. In manchen deutschen Schlachthöfen wird bereits heute erfolgreich Personal eingesetzt, das alle Schweine am Ende der Nachentblutestrecke auf ihre Corneal- und Lidschlussreflexe hin untersucht bzw. auf jegliche zweifelhafte Bewegungen achtet und gegebenenfalls sofort reagiert (ANON. 2015).

5.2.5 Neugestaltung des Auswerteschemas der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation

Da Veröffentlichungen zu den Bewegungsmustern während einer Heißwasser-Reizapplikation bei Schweinen nicht gefunden werden konnten, war es der Autorin nur teilweise möglich entsprechende Bewegungsmuster, nach denen die Tiere unterschieden werden sollten, vor Beginn aller Untersuchungen festzulegen. Während der Auswertung der Vorversuche stellte sich hierbei heraus, welche Bewegungsmuster von den Tieren wiederkehrend gezeigt werden und

welche nicht zu differenzieren waren. Es ergaben sich insgesamt neun verschiedene Bewegungsmuster, in die alle reizpositiven Schweine eingeordnet werden konnten. Das Muster „Atembewegung“ wurde auf ein klar erkennbares „Maul öffnen“ reduziert und die Muster „Vokalisation“, „Grimassieren“ und „Lidschluss“ aus dem ursprünglichen Bewertungsschema ausgeschlossen. Selbstverständlich konnten in einigen wenigen Fällen feine Reaktionen wie Lidschluss oder Grimassieren trotz alledem beobachtet werden. Wünschenswert wäre es gewesen, wenn bei allen Tieren auch das Vorhandensein dieser Bewegungen erfassbar gewesen wäre. Da jedoch nie mit einer hohen Sicherheit ausgeschlossen werden konnte, dass diese Reaktionen bei manchen Tieren unentdeckt geblieben sind, wurden sie sicherheitshalber aus der Auswertung herausgenommen. Des Weiteren wäre hierbei zu berücksichtigen gewesen, dass feine Muskelkontraktionen im Gesichtsbereich nachgewiesenermaßen auch bei bereits verstorbenen Lebewesen beobachtet werden können (SAPOSNIK et al. 2009). Es kann angenommen werden, dass insbesondere Grimassieren demnach nur eine relativ geringe Aussagekraft bei der Todeskontrolle von Schweinen besitzt. Nach dem „Stun quality protocol“ von ATKINSON et al. (2012) wird Vokalisation während des gesamten Sterbeprozesses als ein hochgradig tierschutzrelevantes Anzeichen gewertet. Die EFSA (2013) interpretiert Vokalisation sogar als konkreten Indikator der Wiederkehr des Bewusstseins von Schweinen. Vokalisation trat bei den untersuchten elektrisch betäubten Schweinen zu keinem Zeitpunkt der Reizapplikation auf. In den Versuchen zum Heißwasser-Reiz an Schlachthöfen mit CO₂-Betäubung dagegen konnten in einigen wenigen Fällen Lautäußerungen dokumentiert werden (SCHREIBER 2016). Die Vermutung liegt nahe, dass die elektrische Betäubung dazu geführt hatte, das Stimmorgan der Schweine derart zu beeinflussen, dass dieses nicht mehr in der Lage war Lautäußerungen von sich zu geben.

5.2.6 Vorkommen von Bewegungsmustern während der Heißwasser-Reizapplikation

Neben der Aufzeichnung des reinen Vorkommens oder nicht Vorkommens von Bewegungen bzw. Reaktionen auf den Reiz, wurden auch die Formen jener analysiert. Betrachtet man die Bewegungsmuster ungeachtet ihrer möglichen Kombinationen, stellt sich heraus, dass Auffälligkeiten der Vordergliedmaße und ein Öffnen des Mauls bei jeweils etwas über der Hälfte der reagierenden Schweine registriert wurden. Becken- bzw. Hintergliedmaßen-Bewegungen oder „Aufrichteversuche“ wurden ebenfalls relativ häufig beobachtet. Das Bewegungsmuster „Kopf schütteln“ wurde von reizpositiven Schweinen dagegen am seltensten gezeigt. Literatur zu vergleichbaren Bewegungsmusteranalysen an Schweinen konnte nicht gefunden werden. TROEGER und MEILER (2006) sprechen ausschließlich von Reiz-Reaktionen, aber differenzieren diese nicht nach bestimmten Bewegungsmustern.

Beim Vergleich der Bewegungsmuster-Unterkategorien fiel auf, dass das Muster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ im Vergleich zu den anderen drei „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ am häufigsten zu beobachten war. Vergleicht man die bei den einzelnen Bewegungsmustern beteiligten Skelettmuskelgruppen miteinander, erklärt sich das Phänomen dadurch, dass einem kurzen Strecken der Vordergliedmaße ein vergleichsweise einfaches Zusammenspiel der beteiligten Muskelgruppen zugrunde liegt. Bei dieser Bewegung kommt es

vor allem zu Kontraktionen des m. triceps brachii und der mm. pectorales (NICHEL et al. 2003). Das Muster „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ wird ebenso von den genannten Muskelgruppen ausgeführt, jedoch verharrt die Muskulatur über längere Zeit in der genannten Kontraktion. Diese tonische Haltung basiert vermutlich auf einer vergleichsweise höheren Fähigkeit zur Körperkontrolle, als es bei einem einfachen An- und Entspannen jener Muskeln der Fall ist. Bei den Bewegungsmustern „Strampelnde Vordergliedmaße“ und „Beugen Karpalgelenk“ handelt es sich im Vergleich zu den zwei erstgenannten Mustern um noch komplexere Bewegungsabläufe (NICHEL et al. 2003).

Bei den zwei Bewegungsmustern innerhalb der „Aufrichteversuche“ wurde unterschieden zwischen einem Hochziehen aus der Kopf- bzw. Nackenmuskulatur heraus und einem tonisch dorsalen Strecken, das aus Muskelkontraktionen der Nacken- und besonders der Rumpfmuskulatur entsteht. Zeigte ein Schwein einen Aufrichteversuch wurde es zumeist unter der Kategorie „Hochziehen Kopf/Nacken“ verzeichnet. Das Muster „Tonisch dorsales Strecken“ war im Vergleich wesentlich seltener dokumentiert worden. Das Ergebnis ist jedoch nicht verwunderlich, da unter letztgenanntes Bewegungsmuster nur eine ganz bestimmte anhaltend dorsal gerichtete Bewegung definiert wurde. Das Muster „Hochziehen Kopf/Nacken“ hingegen beinhaltete jegliche Reaktionsbewegungen in seitlicher, ventraler und kurzer dorsaler Richtung.

5.2.7 Erkennbarkeit der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation

Die meisten Bewegungsmuster konnten relativ sicher von den Untersuchern erkannt werden. Lediglich die Bewegungsmuster „Maul öffnen“ und „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ wurden von weniger als 75 % der reagierenden Schweine leicht erkennbar durchgeführt. Bei diesen Mustern kam es demnach relativ häufig vor, dass sie nur dann von den Untersuchern erkannt wurden, wenn diese die reagierenden Tiere besonders genau beobachteten. Erneut wird deutlich, dass ein automatisiertes System nur dann sicher funktionieren kann, wenn es in der Lage ist, auch gering ausgeprägte Bewegungen der Schweine zu detektieren.

5.2.8 Zusammenhang zwischen den Bewegungsmustern und den Gehirnnerven-Befunden

Um die Bewegungsmuster in Schweregrade einzuteilen, wurden sie mit den Befunden der Gehirnnerven-Untersuchung in Verbindung gebracht. Hierbei zeigte sich, dass die Bewegungsmuster „Kopf schütteln“ und „Aufrichteversuche“ besonders häufig mit positiven Gehirnnerven-Befunden assoziiert waren. Tatsächlich waren die relativen Anteile doppelt positiver Gehirnnerven-Befunde im Vergleich zu den anderen Bewegungsmustern besonders hoch. Ein Bewegungsmuster, bei dem beide Tests, „Augentest“ und „Nasenscheidewandtest“, positiv identifiziert wurden, kann als schwerwiegender im Sinne des nicht eingetretenen Todes des reagierenden Tieres interpretiert werden, als ein Muster, das lediglich mit einem positiven Test assoziiert war. Andere Bewegungsmuster waren im Vergleich zu erstgenannten Reaktionen weniger häufig mit positiven Gehirnnerven-Befunden verbunden. Jedoch muss hierbei erneut berücksichtigt werden, dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass es möglicherweise auch zur Dokumentation falsch negativer Gehirnnerven-Befunde gekommen war. Die relativen Anteile

der positiven Gehirnnerven-Befunde der jeweiligen Bewegungsmuster waren also mindestens so hoch, wie sie berechnet wurden. Außerdem dürfen die Ergebnisse auch nicht dahingegen falsch interpretiert werden, dass ein Bewegungsmuster, das seltener mit einem positiven Gehirnnerven-Befund verbunden war als ein anderes, unbedeutend im Sinne der Interpretation des sicheren Todeseintritts ist. Die Forderung der Tierschutz-Schlachtverordnung, in der jede Art von Bewegung der Schweine am Ende der Nachentblutestrecke als nicht tierschutzkonform angesehen wird, ist in diesem Sinne also besonders zielführend jeglichen Fehlinterpretationen der Bewegungen der Tiere entgegen zu wirken (ANON. 2012c).

Bei genauerer Betrachtung der Bewegungsmuster-Unterkategorien „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ stellte sich heraus, dass besonders das Muster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ nur in etwa der Hälfte der Fälle mit einem positiven Gehirnnerven-Befund korrelierte. Insbesondere die Bewegungsmuster „Strampelnde Vordergliedmaße“ und „Beugen Karpalgelenk“ waren deutlich häufiger mit positiven Befunden verbunden. Zeigte ein reagierendes Schwein eine dieser Bewegungen wies es im Vergleich zu solchen mit dem Muster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ überdies besonders häufig doppelt positive Gehirnnerven-Befunde auf. Die Annahme, dass ein Bewegungsmuster, je komplexer es in seiner Durchführung ist, auf ein höheres Maß an Gehirnfunktionalität hinweist, als ein weniger komplexes wurde hierdurch bestätigt. Außerdem kann die Vermutung geäußert werden, dass es sich bei dem Bewegungsmuster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ um die Ausführung eines reinen rückenmarksgesteuerten Reflexes handelte, möglicherweise des sogenannten Flexor-Reflexes (VANDEVELDE et al. 2001). Das heiße Wasser, das teilweise auch den Zwischenklauenspalt erreichen konnte, könnte den Reflex bei den Schweinen ausgelöst haben. Ähnliche zunächst unbewusste Reflexbewegungen sind auch aus dem menschlich Alltag bekannt, z. B. beim reflexartigen Wegziehen der Hand von einer heißen Herdplatte (ZIMMERMANN 2004). In der Neurologie wird bei Patienten zumeist dann eine erhöhte Erregbarkeit der Rückenmarksreflexe in den Vordergliedmaßen festgestellt, wenn es sich um eine Schädigung des oberen motorischen Neurons handelt, wenn also höhere neuronale Zentren, cranial des fünften Halswirbels, beschädigt sind (VANDEVELDE et al. 2001 und BEAR et al. 2008). Die Reflexbewegungen werden dann durch eine verminderte zentrale Hemmung verstärkt. Weil nach elektrischer Betäubung ähnliche pathophysiologische Mechanismen ablaufen, wie nach einem epileptiformen zentralnervösen Anfall, lässt sich die Bewegung „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ mancher Schweine auf eine Hyperreflexität in der Muskulatur erklären (ANON. 2012a). Die anderen Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten können demnach im Vergleich als echte Reiz-Reaktionen und weniger als unbewusste reflexgesteuerte Bewegungen gedeutet werden.

5.2.9 Häufigkeit der Bewegungsmuster während der Heißwasser-Reizapplikation

Als nächster Schritt der Bewegungsanalyse reagierender Schweine sollte herausgefunden werden, welche Bewegungsmuster häufiger bzw. seltener bei hirnstammpositiven bzw. -negativen Schweinen vorkamen. 75 % aller Schweine mit mindestens einem positiven Gehirnnerven-Befund zeigten das Bewegungsmuster „Hochziehen Kopf/Nacken“. Dieses Bewegungsmuster zählt zu den aufrichtenden Reaktionen, welche eindeutig nicht mit dem Tod von Tieren vereinbar sind (EFSA 2013). Hätte man bei der Beobachtung der Schweine

ausschließlich auf diese Bewegung geachtet, hätte bereits 3/4 der hirnstammpositiven Schweine detektieren werden können. Des Weiteren war dieses Bewegungsmuster für die Untersucher zumeist auch leicht erkennbar gewesen, dargestellt in Kapitel 4.2.7. Es kann also als das wichtigste Indiz zur Detektion von nicht-toten Schweinen am Ende der Nachentblutestrecke genannt werden. Jedoch zeigen die Ergebnisse der relativen Häufigkeiten der Bewegungsmuster auch, dass man sich bei der Beobachtung der Schweine während der Heißwasser-Reizapplikation nicht nur auf ein Bewegungsmuster beschränken kann. Bei jeder Art von Reaktion auf den Schmerzreiz konnte nie ganz ausgeschlossen werden, dass das Tier noch Hirnstammrestfunktionen innehatte.

Beim Vergleich der Häufigkeiten der Bewegungsmuster von hirnstammnegativen Schweinen fällt auf, dass hier vergleichsweise oft die Bewegungsmuster „Bewegungen Becken/Hintergliedmaße“, „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ und „Maul öffnen“ dokumentiert wurden. Jene drei Bewegungen korrelierten auch weniger häufig mit positiven Gehirnnerven-Befunden als die restlichen Muster. Das häufigere Auftreten dieser Reaktionen bei hirnstammnegativen Schweinen ist demnach schlüssig. Jedoch ist insbesondere ein Öffnen des Mauls, wird es als Atmungsbewegung interpretiert, nach Literaturangaben ein wichtiges Indiz bei der Beurteilung des wiedererlangten Bewusstseins bzw. des noch nicht eingetretenen Todes von Schweinen auf der Nachentblutestrecke (ANON. 2007a, 2014d und EFSA 2013). Keines der drei genannten Bewegungsmuster sollte, wie bereits erwähnt, prinzipiell ignoriert werden (ANON. 2012c). Jedoch kann aus den Ergebnissen geschlossen werden, dass sich zumindest die Muster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ und „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ als Indizien für nicht-tote Schweine weniger eignen, als z. B. das Muster „Hochziehen Kopf/Nacken“.

5.2.10 Vorkommen von Bewegungsmuster-Kombinationen während der Heißwasser-Reizapplikation

Nach der Auswertung der reizinduzierten Bewegungsmuster im Vorversuch mit Heißwasser waren insgesamt neun unterscheidbare Bewegungsmuster differenziert worden. Nach jenen bereits beschriebenen Ergebnissen wurde wiederum eine leicht abgewandelte Einteilung der Muster für die Betrachtung der Bewegungsmuster-Kombinationen gewählt. Bei der Auswertung der fünf definierten Muster zeigte sich, dass die reagierenden Schweine lediglich 27 verschiedene Bewegungsmuster-Kombinationen durchführten. ATKINSON et al. (2012) hatten in einer Untersuchung 9.520 Schweine an acht verschiedenen Schlachtbetrieben nach CO₂-Betäubung untersucht. Auch sie beschrieben verschiedene Bewegungsmuster- bzw. Symptom-Kombinationen der Schweine. Hierbei wurde jedoch lediglich die Betäubung evaluiert und nicht eine Aussage über den eingetretenen Tod der Tiere getroffen. Nach ihren Untersuchungen zeigten die 38 Tiere, die nicht ordnungsgemäß betäubt waren, 14 verschiedene Bewegungsmuster-Kombinationen.

5.2.11 Zusammenhang zwischen den Bewegungsmuster-Kombinationen und den Gehirnnerven-Befunden

Um die Reaktionen der Schweine auf den Heißwasser-Reiz konkreter zu bewerten, wurden die Anteile hirnstammpositiver bzw. -negativer Schweine je Bewegungsmuster-Kombination

ermittelt. Hierbei stellte sich heraus, dass je vielfältiger die gezeigten Bewegungen ausfielen, desto eindeutiger korrelierte die entsprechende Bewegungsmuster-Kombination mit positiven Gehirnnerven-Befunden. ATKINSON et al. (2012) hatten in ihren Untersuchungen verschiedene Bewegungsmuster-Kombinationen von schlecht betäubten Schlachtschweinen in vier Risiko-Levels eingeteilt. Je höher das entsprechende Risiko-Level ausfiel, desto schwerwiegender bewerteten die Autoren die Befunde der Schweine im Sinne der Betäubungsqualität. Auch hier wiesen gerade die Schweine im höchsten Risiko-Level besonders viele Kombinationen aus verschiedenen Bewegungsmustern auf.

In der vorliegenden Arbeit war das ausschließliche Bewegungsmuster „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“, das von relativ vielen reizpositiven Schweinen gezeigt wurde, nie mit positiven Gehirnnerven-Befunden verbunden. Das Ergebnis verwundert nicht, denn es kann vermutet werden, dass es sich bei diesem Bewegungsmuster um eine unbewusste Reflexbewegung handelte, dessen Reflexbogen primär über das Rückenmark und nicht das Gehirn verläuft. Betrachtet man erneut die Häufigkeit der Bewegungsmuster, wird deutlich, dass das alleinige Bewegungsmuster „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ zudem am häufigsten auftrat, ersichtlich in Kapitel 4.2.9. Obwohl die Reizapplikation primär im cranialen Körperbereich der Schweine erfolgte, zeigten viele Tiere diese Bewegungen im Becken bzw. in den Hintergliedmaßen. Es könnte sich hierbei um einen sogenannten Fremdreﬂex handeln, bei dem sich die Sensoren – die Haut im cranialen Körperbereich – und die Effektoren – die Becken- bzw. Hintergliedmaßen- Muskulatur – in unterschiedlichen Organen befinden (BEAR et al. 2008). Die Reizweiterleitung verlief dann relativ weitreichend von cranial nach caudal über das Rückenmark. Explizite Literatur zu solch einem Fremdreﬂex konnte jedoch nicht gefunden werden. Möglich ist auch, dass die Becken- bzw. Hintergliedmaßenbewegungen der Schweine allein aufgrund des starken Zuges am angeschlungenen Hinterbein zufälligerweise zum Zeitpunkt der Reizapplikation zustande kamen. Denkbar ist des Weiteren, dass heiße fremdgeleitete Wasserspritzer die Hinterbeine erreichten und dadurch eine Reaktion hervorriefen. Auch GRANDIN (2013) weist darauf hin, dass bei der Beurteilung von Schweinen auf dem Schlachtband der hintere Körperbereich keine Aussagekraft über die Gehirnleistungen der Tiere besitzt. Diese Aussage deckt sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit. Jedoch muss darauf hingewiesen werden, dass nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, dass manch ein Schwein mit dem ausschließlichen Reaktions-Muster „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ im Laufe der folgenden Brühung zusätzliche Lebenszeichen entwickelt hatte. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese Tiere zum Zeitpunkt der Reizung nicht tot waren, kann jedoch als vernachlässigbar gering eingeschätzt werden. Aus Sicht der Tierschutz-Schlachtverordnung sind nichtsdestotrotz, wie bereits erwähnt, keinerlei Bewegungen der Schweine vor weiteren Schlachtarbeiten akzeptabel (ANON. 2012c).

GRANDIN (2013) schreibt des Weiteren, dass nur dem Kopfbereich der Tiere Beachtung geschenkt werden muss. „The head must be dead“ heißt es in genannter Schrift. Insbesondere bei der Betrachtung von Vordergliedmaßen-Bewegungen oder tonischen Haltungsformen steht diese letztgenannte Aussage den Ergebnissen der hier dargestellten Untersuchungen entgegen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass manche Schweine, die während der Reizapplikation Auffälligkeiten in den Vordergliedmaßen zeigten, ein noch in gewissem Maße erhaltenes

Sensorium aufwiesen. Selbst bei dem ausschließlichen Bewegungsmuster „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“ zeigten immerhin noch zwei von acht Schweinen mindestens eine positive Reaktion auf die Tests der Gehirnnerven-Untersuchung. Außer bei der ausschließlichen Bewegung des Beckens bzw. der Hintergliedmaße ist es bei den anderen Mustern, die zumindest teilweise mit positiven Gehirnnerven-Befunden verbunden waren möglich, dass sie tatsächlich zu einer im Gehirn verschalteten Wahrnehmung geführt hatten.

Nach Literaturangaben sind unter anderem aufrichtende Bewegungen und Atmungsbewegungen nicht mit dem eingetretenen Tod von Schweinen vereinbar (EFSA 2004, 2013). In einigen Fällen wiesen jedoch einige Schweine mit entsprechenden Bewegungen keine positiven Gehirnnerven-Befunde auf, obwohl man das nach Angabe der Literatur erwartet hätte. Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass in jenen Fällen falsch negative Gehirnnerven-Befunde erhoben wurden. Auch kann vermutet werden, dass einige Tiere nach Durchführung der Reaktionsbewegungen, jedoch noch vor der Gehirnnerven-Untersuchung verstorben sind und aufgrund dessen als hirnstammnegativ bezeichnet wurden. In der Humanmedizin findet sich außerdem Literatur, die beschreibt, dass Menschen, die als hirnstammtot diagnostiziert wurden noch Muskelkontraktionen zeigen können (CHRISTIE et al. 1996). Selbst nach Todesfeststellung kommt es in Einzelfällen zu Bewegungen der Arme und sogar zu aufrichtenden Bewegungen der verstorbenen Patienten. Ob es jene Phänomene in der Tiermedizin auch gibt, kann nicht ausgeschlossen werden, insbesondere nicht nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen.

5.2.12 Schweine mit steif veränderter Körperhaltung am Ende der Nachentblutestrecke

Im Schnitt zeigten 0,2 % der untersuchten Schweine trotz Reaktionslosigkeit steif veränderte Körperhaltungsformen, die einigen abgeschlossenen Bewegungen reagierender Schweine sehr ähnelten. Erst während der Gehirnnerven-Untersuchung konnten diese Tiere von den bewegungsfähigen Schweinen eindeutig unterschieden werden.

Spastische Paresen können verursacht werden, wenn das obere motorische Neuron, in diesem Falle der Motorkortex und dessen Nervenbahnen, beschädigt sind (BEAR et al. 2008). Fällt die primär hemmende Wirkung des Groß- und Kleinhirns auf die Extensoren weg, kommt es zu einer sogenannten Dezerebrierungsstarre (STOFFEL 2010). Insbesondere wenn bestimmte Gehirnregionen eine Blutunterversorgung erleiden kann es zu verschiedenen motorischen Ausfällen kommen (BEAR et al. 2008). Meistens kommt es hier zu einer Verminderung des Muskeltonus, wie wohl auch bei den meisten der untersuchten Schlachtschweinen. Der zuletzt genannte Autor beschreibt des Weiteren, dass in der Humanmedizin der Zustand der Spastik bei manchen Patienten, die eine starke Unterversorgung des Gehirns erfahren hatten, zwar erst nach einigen Tagen eintritt, dann jedoch zu einem dauerhaften und zudem oftmals schmerzhaften Hypertonus der Muskulatur führt. Ob die Schweine mit steif veränderter Körperhaltung tatsächlich Schmerzen empfanden, auf diese jedoch aufgrund ihrer spastischen Muskellähmung nicht reagieren konnten, ist unklar. Interessanterweise hatte ein Schwein mit steif veränderter Körperhaltung inklusive leicht geöffnetem Maul kurz nach der Reizapplikation eine erkennbare Zungenbewegung gezeigt. Zungenbewegungen als Beurteilungsparameter der

Betäubungswirkung sind laut GRANDIN (2013) ein Anzeichen einer partiellen Empfindungsfähigkeit. Nach der hier vorgestellten Beobachtung kann nicht ausgeschlossen werden, dass Schweine mit tonisch veränderter Körperhaltung noch Hirnstammaktivität besitzen können.

Ein weiterer Ansatz, die steif veränderten Körperhaltungsformen zu erklären, kann in den pathophysiologischen Mechanismen, die zur Totenstarre führen, gesucht werden. In den meisten Fällen tritt diese Muskelstarre beim Schwein jedoch erst nach einigen Stunden post mortem ein (PETCH 2001). WARRISS et al. (2003) untersuchten den Eintritt der Totenstarre beim Schwein in Bezug auf ermittelte Stressparameter bereits eine halbe Stunde nach der Entblutung und konnten nachweisen, dass je früher sie beginnt, desto stärker war die prämortale Stressbelastung der Tiere gewesen. Der Verlauf der Ausbreitung der muskulären Starre nach Todeseintritt verläuft normalerweise in cranio-caudaler Richtung. Dies würde zu den steifen Haltungsmustern der genannten Schweine passen. Die Zungenbewegung, die bei einem Tier mit steif veränderter Körperhaltung beobachtet worden war, kann hiermit jedoch nicht in Einklang gebracht werden. Nur bei Erschöpfung aller Energiereserven in der Muskulatur tritt die Totenstarre ein. Eine Bewegung ist dann nicht mehr möglich. Das Auftreten einer verfrühten Totenstarre bei den Schweinen mit steif veränderter Körperhaltung ist demnach unwahrscheinlich, kann jedoch nicht ganz ausgeschlossen werden.

Bekanntermaßen kommt PSE-Fleisch – pale, soft, exsudative – häufiger bei Schlachtbetrieben mit elektrischer, als mit CO₂-Betäubung vor (VON ZWEIGBERGK 1989). Werden die Tiere kurzzeitig prä mortal gestresst kann es bei solchen mit entsprechender Prädisposition zur sogenannten malignen Hyperthermie kommen. Hierbei findet eine derartige Körpertemperaturerhöhung vor allem in der Rückenmuskulatur statt, dass die beteiligten Muskelproteine teilweise noch vor dem Todeseintritt denaturieren und zu einer Muskelsteifheit führen können (HALL 1972, BINKE 2003). Eine Anschwellung der betroffenen Muskelpartien, wie sie hierbei häufig zu beobachten ist, konnte in den eigenen Untersuchungen jedoch nicht nachgewiesen werden. Ob es sich bei den untersuchten Schweinen mit steif veränderter Körperhaltung tatsächlich um PSE-Tiere handelte, ist denkbar, konnte jedoch nicht absichernd bestätigt werden, da keine Messungen zur Fleischqualität erfolgt waren.

5.2.13 Abschließende Bewertung des Reizes „Heißwasser“

Das vielversprechende Ergebnis des Reizes „Heißwasser“ aus dem Vorversuch bestätigte sich im Hauptversuch. Die Sensitivität des Tests lag nun bei 99 %. Alle 75 hirnstammpositiven Schweine, außer einem, hatten auf den Reiz reagiert. Bei jenem reiznegativem Tier kann nicht ausgeschlossen werden, dass die folgende Aussage von VON HOLLEBEN (2009) zutrifft: Tiere können durch das Anschlingen einen derartig heftigen Schmerz empfinden, dass sie möglicherweise unfähig sind entsprechende Bewegungen zu zeigen, die ihr wiedererlangte Empfindungsfähigkeit dem Beobachter verdeutlichen würden. Auch kann es sein, dass das Schwein eine derart feine Reaktions-Bewegung gezeigt hatte, dass sie unentdeckt blieb. Die Sensitivität der hier dargestellten Untersuchungen kann mit den Ergebnissen der Arbeiten von TROEGER und MEILER (2006) verglichen werden. In deren Untersuchungen reagierten alle Schweine, die durch den „Nasenscheidewandtest“ als wahrnehmungs- und empfindungsfähig

diagnostiziert wurden, auch auf den Heißwasser-Reiz. Die Spezifität vom Reiz „Heißwasser“ lag im Hauptversuch bei 98 %. Beinahe jedes hirnstammnegative Schwein war auch als reiznegativ bewertet worden. Dieses Ergebnis deckt sich ebenfalls mit der Aussage von TROEGER (2010b), der sagte, dass bei geschlachteten Schweinen, die bewegungs- und reaktionslos sind, vom eingetretenen Tod gesprochen werden kann. Auch der negative prädiktive Wert war zufriedenstellend und bestätigte ebenfalls genannte Aussage von TROEGER (2010b). Bei reiz- bzw. hirnstammnegativen Schweinen war demnach mit einer hohen Wahrscheinlichkeit der Tod durch Blutentzug bereits eingetreten. Bei reizpositiven Schweinen kam es dagegen auf das Muster der gezeigten Reaktion an. Hier konnte nicht pauschal von lebend oder tot diagnostizierten Schweinen gesprochen werden. Der positive prädiktive Wert, der angibt, wie viele reizpositive Schweine auch einen positiven Gehirnnerven-Befund aufwiesen, fiel im Vergleich zu den anderen Bewertungsparametern am wenigsten zufriedenstellend aus. Er lag im Hauptversuch bei 37 % und erbrachte demnach ein schlechteres Ergebnis als es die Ausgangsdaten der Voruntersuchungen vermuten ließen.

Da sich in der Analyse der Bewegungsmuster jedoch heraus kristallisiert hatte, dass das ausschließliche Muster „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“ nie mit positiven Gehirnnerven-Befunden korrelierte, wurden all die Schweine mit jener ausschließlich gezeigten Bewegung rechnerisch zu den reiznegativen Tieren hinzu addiert. Somit konnten die Bewertungs-Parameter neu berechnet werden. Bei reiner Betrachtung des cranialen Körperbereiches der Tiere während der Reizapplikation erhöhte sich insbesondere der Wert des positiven prädiktiven Wertes.

Abschließend kann gesagt werden, dass der Heißwasser-Reiz eine geeignete diagnostische Methode zur Beurteilung des eingetretenen Todes von Schlachtschweinen darstellt, wobei der Fokus der Beobachtung der Tiere während der Reizung im cranialen Körperbereich liegen sollte.

5.3 Spontanbewegungen auf der Nachentblutestrecke

5.3.1 Vorkommen von Spontanbewegungen

Primär wurden die Spontanbewegungen zwischen der dritten Minute nach Entblutestich und der Reizapplikation am Ende der Nachentblutestrecke analysiert. Jedoch konnte in den Schlachthöfen B und C auch das Vorkommen bzw. nicht Vorkommen von spontanen Bewegungen zwischen dem Entblutestich und dem Anschlingen dokumentiert werden.

Während der Untersuchungen stellte sich jedoch heraus, dass sich die ersten zwei Minuten nach Entblutestich nicht dazu eigneten, eine Vorhersage über das Vorkommen von reiz- bzw. hirnstammpositiven Schweinen am Ende der Nachentblutestrecke treffen zu können. In Schlachthof C hatten sich besonders viele Schweine kurz nach dem Entblutestich spontan bewegt. An diesem Betrieb war die Inzidenz reiz- bzw. hirnstammpositiver Schweine vier bis fünf Minuten nach Entblutestich im Vergleich zu Schlachthof B jedoch deutlich geringer. Das häufige Vorkommen von sich spontan bewegenden Schweinen in Schlachthof C kann möglicherweise auf die hier vorgefundene Voreinstellung von lediglich 50 Hertz bei der Kopfdurchströmung herrühren. Laut BERGHAUS und TROEGER (1998) hält die tonische Phase des induzierten epileptiformen Anfalls bei niedrigen Frequenzen wie 50 Hertz kürzer an, als bei

höheren Frequenzen. Dies kann des Weiteren zum Auftreten von petechialen Blutungen führen, die wiederum auf vorangegangene verstärkte Muskelkontraktionen hindeuten. Auch kann die hängende Position der Schlachtschweine in Betrieb C durch den Zug am Hinterbein der Tiere zu Reflexbewegungen geführt haben, die durch eine liegende Entbluteposition nicht ausgelöst worden wären. Zusätzlich sei betont, dass bei Betäubungssystemen, die mit höheren Frequenzeinstellungen arbeiten, die elektrische Betäubung aus Sicht des Tierschutzes sicherer ablaufen kann (VON WENZLAWOWICZ et al. 1998). Auch weisen Autoren immer wieder darauf hin, dass der richtige Ansatzpunkt entscheidend ist, um eine gut funktionierende elektrische Betäubung einzuleiten (ANIL und MCKINSTRY 1998 und EFSA 2004). In Schlachthof C wurden die Schweine aus einer Bucht heraus, also ohne weitere Bewegungseinschränkung, betäubt. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass der korrekte Ansatzpunkt der Elektroden in einigen Fällen nicht sicher getroffen wurde. Das im Vergleich zu den anderen zwei Schlachthöfen beste Ergebnis im Sinne der Todeskontrolle in Schlachthof C scheint demnach primär auf die besonders schnelle und gründliche Entblutung und die verhältnismäßig langsame Schlachtleistung zurückführbar zu sein. Je schneller die Bandgeschwindigkeit an einem Schlachtbetrieb ist, desto weniger Zeit bleibt dem Schlachthofpersonal zur Verfügung, die Tiere auf Lebenszeichen hin zu kontrollieren (ANON. 2012b).

Nach dem Anschlingen bzw. drei bis vier Minuten nach Entblutestich war die Beobachtung der Schweine an allen drei Schlachthöfen möglich. Hierbei zeigte sich, dass in Schlachthof B deutlich mehr Schweine Spontanbewegungen gezeigt hatten, als in Betrieb A. Jedoch wurden hier am Ende der Nachentblutestrecke genauso häufig eindeutig nicht-tote, das heißt reiz- und hirnstammpositive Tiere diagnostiziert, wie in Schlachthof A. Hierdurch wird deutlich, dass auch in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich das reine Vorkommen von Spontanbewegungen wenig Vorhersagekraft dahingehend besitzt, wie viele Tiere am Ende der Nachentblutestrecke, das heißt vier bis fünf Minuten nach Entblutestich, als nicht-tot diagnostiziert werden. Entscheidend bei der Bewertung der Spontanbewegungen von Schlachtschweinen sind demnach vor allem die gezeigten Muster und weniger das reine Vorkommen oder nicht Vorkommen von Bewegungen.

5.3.2 Vorkommen von Spontanbewegungen im Zusammenhang mit den Reiz- und Gehirnnerven-Befunden

Da die Beobachtung der Spontanbewegungen in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich an allen drei Schlachthöfen möglich war, wurden jene Bewegungen in dieser Zeitspanne näher analysiert. Hierbei stellte sich heraus, dass Schweine, die auf den Heißwasser-Reiz und/oder die Gehirnnerven-Untersuchung reagiert hatten, vorher deutlich häufiger erkennbare Spontanbewegungen gezeigt hatten, als solche, die während der Untersuchung völlig reaktionslos blieben. Jedoch hatten auch sechs % der reizpositiven Schweine keine Spontanbewegungen gezeigt. Hätte man lediglich die spontanen Bewegungen der Schweine beachtet und keine Heißwasser-Reiz-Prüfung durchgeführt, wären diese Schweine zu keinem Zeitpunkt des Sterbeprozesses aufgefallen. Dies zeigt eindrücklich die Sinnhaftigkeit der Heißwasser-Reizprüfung am Ende der Nachentblutestrecke. Des Weiteren hatten jedoch auch acht % der Tiere, die nicht auf den Reiz reagierten, vorher Spontanbewegungen gezeigt. Es ist davon

auszugehen, dass diese Schweine entlang der Nachentblutestrecke durch den anhaltenden Blutverlust verstarben, bevor sie die Reizanlage erreichten.

5.3.3 Neugestaltung des Auswerteschemas der Spontanbewegungsmuster

Wie bereits in Kapitel 5.2.5 diskutiert, wurden die vorher definierten Bewegungsmuster auch für die Spontanbewegungen nach Auswertung des Vorversuches neu festgelegt.

5.3.4 Spontanbewegungsmuster von Schweinen mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und positivem Gehirnnerven-Befund

Um herauszufinden, welche Spontanbewegungen besonders häufig bei Schweinen vorkommen, die am Ende der Nachentblutestrecke nicht als tot zu bezeichnen waren, wurden zunächst die Bewegungen analysiert, die von reiz- und hirnstammpositiven Schweinen gezeigt wurden. Interessanterweise hatten all diese Tiere in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich mindestens einmal eine spontane Maulöffnungs-Bewegung gezeigt. Ob es sich um Atmungsbewegungen mit oder ohne Lufteinzug in die Lungen handelte, konnte während der Untersuchungen nicht ermittelt werden. Es wurde lediglich das Vorkommen bzw. nicht Vorkommen des Öffnens der Maulspalte berücksichtigt. Das Bewegungsmuster „Maul öffnen“ kann demnach als das wichtigste Indiz zur Vorhersage von Schweinen, die am Ende der Nachentblutestrecke nicht als tot zu bezeichnen sind, herangezogen werden. Das Ergebnis passt zu den Aussagen von ANIL (1991) und ANIL et al. (1997), die beschreiben, dass spontane Atmungsbewegungen das erste erkennbare Indiz von wiederkehrendem Bewusstsein elektrisch betäubter Schweine darstellen. Auch VELARDE et al. (2002) konnte diese Aussage durch Untersuchungen an Lämmern bestätigen. Weitere einschlägige Literatur betont ebenfalls die Wichtigkeit von Atmungsbewegungen für die Kontrolle von Schlachtschweinen im Sinne der Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit und demnach auch in Bezug auf den eingetretenen Tod der Tiere (EFSA 2004, 2013).

Weitere Bewegungsmuster, wie „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ wurden bei fast der Hälfte jener nicht-toten Schweine beobachtet. Auch dieses Muster erscheint eine hohe Relevanz bei der Vorhersage reiz- bzw. hirnstammpositiver Schweine zu besitzen. Sonstige spontane Bewegungen, insbesondere Aufrichteversuche wie „Hochziehen Kopf/Nacken“ und „Tonisch dorsales Strecken“, aber auch Bewegungen der Vordergliedmaße kamen zwar seltener vor, erscheinen deswegen jedoch nicht weniger bedeutend. Jegliche Formen von Aufrichteversuchen sind für ANIL (1991 und 1997) im Vergleich zu Atmungsbewegungen bereits eindeutige Anzeichen für ein wiedererlangtes Bewusstsein. Er misst ihnen demnach sogar eine höhere Bedeutung zu, als den Atmungsbewegungen. Nach den Ergebnissen dieser Arbeit sollten jedoch auch Vordergliedmaßen-Bewegungen und insbesondere tonisch gestreckten Vordergliedmaßen zukünftig mehr Beachtung geschenkt werden.

5.3.5 Spontanbewegungsmuster-Kombinationen von Schweinen mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und positivem Gehirnnerven-Befund

Theoretisch gilt Folgendes: Hätte man sich in der Beobachtung der Spontanbewegungen der Schweine lediglich auf das Muster „Maul öffnen“ konzentriert, hätten all jene Schweine bereits

vor der Schmerz-Reizung detektiert werden können, die am Ende der Nachentblutestrecke eindeutig nicht als tot zu bezeichnen waren. Interessanterweise hatte sogar über ein Drittel der reiz- und hirnstammpositiven Schweine ausschließlich das Bewegungsmuster „Maul öffnen“ gezeigt, was die Wichtigkeit der Beachtung dieses Muster verstärkt. Des Weiteren konnten bei jenen Tieren unterschiedlichste Bewegungsmuster-Kombinationen vor allem im cranialen Körperbereich nachgewiesen werden. Je vielfältiger die Spontanbewegungen waren, umso eher handelte es sich um ein Tier mit erhaltener Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit. Der Fokus der Betrachtungen fällt auch hier insbesondere wieder auf den Kopf- und Nackenbereich und die Vordergliedmaße der Schweine.

5.3.6 Spontanbewegungen von Schweinen ohne Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und mit negativem Gehirnnerven-Befund

Knapp 60 % der Tiere, die weder auf den Heißwasser-Reiz noch auf die Gehirnnerven-Untersuchung reagiert hatten, zeigten das spontane Bewegungsmuster „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“, ein Muster, das nach GRANDIN (2013), wie bereits erwähnt, keine größere Relevanz in Bezug auf die Einschätzung ein vorhandenes Bewusstseins der Tiere besitzt. Auch das bsi Schwarzenbek vertritt neuerdings diese Einschätzung (ANON. 2013a). Den übrigen 40 % der Schweine, die unter anderem die Muster „Maul öffnen“, „Aufrichteversuche“ und „Vordergliedmaßen-Auffälligkeiten“ gezeigt hatten, sollte demnach besondere Beachtung geschenkt werden. Bei jenen kann nicht ausgeschlossen werden, dass ihnen vor Erreichen der Reizanlage erhebliches Leiden widerfahren war. Insbesondere bei den Tieren, die zielgerichtete Spontanbewegungen gezeigt hatten, ist diese Hypothese denkbar. Dem gegenüber gestellt ist die Aussage von PÜTTGEN und GEOCADIN (2007). Hiernach reagieren manche Gehirnregionen auf einen starken Blutverlust des Körpers weniger empfindlich als andere. Insbesondere das Kleinhirn ist in der Lage eine gewisse Nährstoffunterversorgung – zeitlich begrenzt – zu kompensieren. Es ist also ebenfalls möglich, dass das Kleinhirn, das für die Lokomotion eines Lebewesens zuständig ist, zum Zeitpunkt der durchgeführten Spontanbewegungen noch in der Lage war Muskelkontraktionen zum Aufrichten bzw. zur Korrektur der Körperposition zu steuern, jedoch diese Aktivitätsinformationen an das bereits funktionslose Großhirn nicht weitergeleitet hatte. Somit hätte, zumindest in manchen Fällen, trotz zielgerichteter Spontanbewegungen möglicherweise keine bewusste Wahrnehmung bzw. Empfindung und demnach auch kein Leiden stattgefunden.

Die Autorin stellt fest, dass in der Literatur der Fokus der Betrachtungen zur Tierschutzüberwachung am Schlachthof zumeist stark auf der Kontrolle der Betäubung der Schlachttiere liegt. Neben einer kontrollierten Entblutung (MEILER 2006, TROEGER 2011 und BORGGGAARD 2011) sollten jedoch Spontanbewegungen bis zum Ende der Nachentblutestrecke keinesfalls als weniger wichtig eingeschätzt werden. Die Mitarbeiter des bsi Schwarzenbek (ANON. 2013a) empfehlen hierzu in den Betrieben eine mindestens drei-minütige Nachentblutestrecke zu etablieren. Nach den hier dargestellten Untersuchungen, die an Schlachtbetrieben mit elektrischen Betäubungsverfahren stattgefunden hatten, erscheint es sogar sinnvoll, eine mindestens vier-minütige Nachentblutestrecke zu fordern, damit

sichergestellt werden kann, dass alle Schweine vor weiteren Schlachtarbeiten verstorben sind bzw. sich in einem irreversiblen Stadium der Agonie befinden.

5.3.7 Spontane Maulöffnungs-Bewegungen zwischen Entblutestich und Reizapplikation

Das spontane Bewegungsmuster „Maul öffnen“ wurde als wichtigstes Indiz zur frühzeitigen Erkennung bzw. Vorhersage von Schweinen, die am Ende der Nachentblutestrecke als nicht-tot bezeichnet wurden, ermittelt. Neben anderen Autoren beschreibt insbesondere die EFSA (2013), dass Schweine, die ihr Bewusstsein auf der Nachentblutestrecke wiedererlangen, zuallererst Atmungsbewegungen zeigen (ANIL 1991 und VELARDE et al. 2002). Meistens beginnen diese mit verschiedenen Formen der Schnappatmung, können dann aber in eine physiologische Atmung übergehen.

In der vorliegenden Arbeit ergaben sich statistisch relevante Unterschiede zwischen den reizpositiven und reiznegativen Schweinen in der Gesamtanzahl gezeigter Maulöffnungs-Bewegungen vor Reizapplikation. Sowohl in den ersten zwei Minuten als auch in den folgenden Minuten nach dem Entblutestich hatten reizpositive Schweine häufiger dieses Bewegungsmuster gezeigt, als reiznegative. Eine eindeutige Obergrenze um das Reizergebnis anhand der Anzahl gezeigter spontaner MÖ-Bewegungen vorhersagen zu können, konnte aufgrund der starken Streuung der Daten jedoch nicht ermittelt werden. Laut ANIL (1991) kann von einer rhythmischen Atmung gesprochen werden, wenn mehr als 18 Atemzüge pro Minute durchgeführt werden. Hierbei kann eine vorhandene Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit nicht ausgeschlossen werden. Gerade in den ersten zwei Minuten nach Entblutestich konnten Schweine beobachtet werden, die mindestens 16 MÖ-Bewegungen gezeigt hatten, obwohl sie hinterher auf den Heißwasser-Reiz nicht reagiert hatten. Auch in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich kam es vor, dass reiznegative Tiere mindestens 13 solcher Spontanbewegungen durchgeführt hatten. Während der Betäubungskontrolle wird ein Schwein mit vereinzelt auftretenden Atmungs-Versuchen laut den Mitarbeitern des bsi Schwarzenbek (ANON. 2013a) als „fraglich betäubt“ eingestuft. Weiter heißt es hier, dass nach der ersten Minute lediglich Schnappatmung toleriert werden sollte. Alle Schweine, die viermal oder häufiger Atmungsbewegungen zeigen, werden hierbei als „Nicht OK“ bewertet. Eine eindeutige Differenzierung von „echter Atmung“ und Schnappatmung wäre bei den eigenen Untersuchungen wünschenswert gewesen, war jedoch nicht möglich. Die Ergebnisse verdeutlichen, wie wichtig die Beachtung der spontanen Atmungs- bzw. MÖ-Bewegungen auf der gesamten Nachentblutestrecke sind. Es konnte des Weiteren ermittelt werden, dass reiznegative Tiere im Laufe der Beobachtungszeit ihre MÖ-Bewegungen früher beendeten, als reizpositive. Bei der Berechnung der zeitlichen Abstände zwischen letzter MÖ-Bewegung und Beobachtungsende bestätigte sich dieser Verdacht. Als grober Grenzwert konnte hierbei ermittelt werden, dass Intervallabstände zwischen zwei MÖ-Bewegungen von unter 15 Sekunden, die über die dritte Minute nach Entblutestich hinaus bestanden, besonders häufig von solchen Schweinen gezeigt wurden, die am Ende der Nachentblutestrecke auf den Heißwasser-Reiz reagierten. Dieses Ergebnis ist nicht verwunderlich, wenn davon ausgegangen werden kann, dass je schneller die MÖ-Bewegungen bzw. Atmungs-Versuche einander folgen desto stärker ist das Atemzentrum im Gehirn der Tiere noch in der Lage, auf die mit dem

Blutverlust einhergehenden Hypoxie und dem damit verbundenen Anstieg des CO₂-Partialdrucks zu reagieren (EFSA 2004 und SILBERNAGL 2012).

5.4 Bewegungen beim Anschlingen in Abhängigkeit vom Reizergebnis

In Schlachthof B konnte der Bereich des Anschlingens der Schweine nach der zwei-minütigen liegenden Entblutung beobachtet werden. Es stellte sich heraus, dass acht % der Tiere auf diese Prozedur mit einem deutlichen Ausschlagen mindestens eines Hinterbeins reagierten. Anschlingbewegungen wurden hierbei deutlich häufiger von solchen Schweinen gezeigt, die am Ende der Nachentblutestrecke auf den Reiz „Heißwasser“ reagierten, als von solchen, die keinerlei Reaktionen mehr zeigten. Anschlingbewegungen können demnach als ein weiteres zu beachtendes Indiz zur Vorhersage reizpositive Schweine auf der Nachentblutestrecke genutzt werden. Das Handbuch Tierschutzüberwachung vom Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg formulierte hierzu, dass unter anderem das Personal, das für das Anschlingen der Schweine zuständig ist, diese in der Routineüberwachung auf Anzeichen wiedererlangten Wahrnehmungsvermögens überwachen soll (ANON. 2014d). Hierzu ist der Schlachthofbetreiber in der Pflicht, entsprechende Standardarbeitsanweisungen zu formulieren. Als mögliche Maßnahme erscheint die Nachbetäubung aller Schweine mit eindeutigen Abwehrreaktionen auf das Anschlingen nach liegender Entblutung sinnvoll.

5.5 Elektrische Nachbetäubung in Abhängigkeit vom Reizergebnis

Sechs % der Schweine wurden in Schlachthof B innerhalb der ersten drei Minuten mittels elektrischer Betäubung nachbetäubt. Nach Angaben von ANIL und MCKINSTRY (1992) erzielt eine erneute elektrische Betäubung dieselbe Wirkung wie die Erstbetäubung und kann ohne negative Effekte als Nachbetäubungsverfahren nach elektrischer Erstbetäubung eingesetzt werden. Nach den vorliegenden Untersuchungen zeigten jedoch deutlich mehr nachbetäubte Schweine am Ende der Nachentblutestrecke Reaktionen auf den Reiz „Heißwasser“, als solche, bei denen keine Nachbetäubung als notwendig erachtet wurde. Als Erklärung für dieses Ergebnis kann vermutet werden, dass Schweine, deren erster Betäubungsversuch nicht zu einem sicheren Betäubungsergebnis geführt hatte, trotz Nachbetäubung einer schlechteren Ausblutung unterlagen, als solche bei denen die erste elektrische Durchströmung eine ausreichend sichere Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit verursacht hatte. Dies erscheint nicht verwunderlich, da durch den wiederholten elektrischen Stromfluss eine erneute Verkrampfung der Muskulatur zustande kommt, die möglicherweise einen ungehinderten Abfluss des Blutes aus dem Tierkörper verhindert. Demnach erscheint es besonders wichtig, die ausreichende Entblutung nachbetäubter Tiere sicherzustellen und diese Schweine bis zu deren eingetretenem Tod zu kontrollieren. Das Handbuch Tierschutzüberwachung vom Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz schreibt, dass wiedererwachende Tiere aufgrund mangelnder Entblutung anstatt einer Nachbetäubung einen Nachstich erhalten sollten (ANON. 2014b). Dieser Aussage kann nur teilweise zugestimmt werden. Ein Nachstich bei Schweinen mit wiedererlangter Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit kann deren Ausblutung sicherlich verbessern, da jedoch nicht ausgeschlossen werden kann, dass diese Tiere zur bewussten

Schmerzempfindung in der Lage sind, sollte vorher stets eine Nachbetäubung, in Form einer erneuten Kopf-Durchströmung oder mittels Bolzenschuss, erfolgen.

5.6 Schlussfolgerungen und Lösungsvorschläge für die Praxis

Als eines der wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit seien noch einmal die 3,8 % reagierender Schweine auf den eingesetzten Heißwasser-Reiz vier bis fünf Minuten nach Entblutestich erwähnt. 1,4 % der untersuchten Tiere wiesen hierunter zusätzlich positive Befunde in der Untersuchung von Gehirnnerven-Reflexen auf und/oder hatten auf einen Kniff in die Nasenscheidewand reagiert. Es sei noch einmal erwähnt, dass laut § 12 der deutschen Tierschutz-Schlachtverordnung keinerlei Bewegungen zu diesem Zeitpunkt der Schlachtung tolerabel sind (ANON. 2012c). Primär sind diese Ergebnisse als Zeichen einer mangelnden Entblutung zu werten. Die Untersuchungen ergaben, dass sich heißes Wasser als diagnostischer Test zur Detektion von hirnstammpositiven Schweinen eignet. Eine Implementierung einer Heißwasser-Reisanlage am Ende der Nachentblutestrecke kann demnach empfohlen werden; jedoch nur unter der Bedingung, dass die geschlachteten Schweine zu diesem Zeitpunkt kontinuierlich und in Echt-Zeit überwacht werden. Es bleibt abzuwarten, wie sich das automatisierte Detektionsverfahren weiterentwickelt. In der Zwischenzeit wäre es denkbar Schlachthofpersonal für die Beobachtung der Reaktionen der Schweine einzusetzen. Eine langsamere Schlachtgeschwindigkeit ist hierbei gegenüber einer schnelleren zu bevorzugen.

Die EFSA (2013) hat ein Protokoll herausgebracht, das Schritt für Schritt verdeutlicht, auf welche Bewegungen und Reaktionen der Schlachtschweine geachtet werden sollte. Es handelt sich hierbei um Arbeitsanweisungen für elektrisch betäubte Schweine nach reiner Kopf-Durchströmung. Sie gibt hierbei an, dass Atmungsbewegungen, Aufrichteversuche, spontaner Lidschluss und Vokalisation auf der Nachentblutestrecke beachtet werden sollten. Die Ergebnisse dieser Arbeit geben jedoch Grund zur Annahme, dass die Herzdurchströmung auch bei modernen Betäubungsanlagen nicht immer zum gewünschten Herzkammerflimmern und demzufolge nicht immer zum baldigen Tod der Tiere führt. Überwachungsprotokolle sollten somit auch bei Schweinen Anwendung finden, die mittels Kopf-zu-Herz-Durchströmung betäubt wurden, bei denen also eine sogenannte „irreversible“ Betäubung stattgefunden hat. Zudem erscheint es sinnvoll, folgende spontane Bewegungsmuster in jenen Kriterienkatalog mit aufzunehmen: „Kopf schütteln“, „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ und „Bewegungen Vordergliedmaße“, insbesondere „Strampelnde Vordergliedmaße“ und „Beugen Karpalgelenk“. Außerdem wäre es wünschenswert, wenn innerhalb der Aufrichteversuche das Bewegungsmuster „Tonisch dorsales Strecken“ der Vollständigkeit halber Erwähnung findet. Jene zu beachtenden Bewegungsmuster sind auf gleiche Weise auf den Bereich der Heißwasser-Reizapplikation übertragbar. Bei der Beurteilung insbesondere der Reiz-Reaktionen auf Heißwasser sollte jedoch unterschieden werden, ob elektrisch oder CO₂- betäubte Schweine beurteilt werden. Je nach Betäubungsverfahren zeigten die Tiere hierbei unterschiedliche Bewegungsmuster (ARNOLD et al. 2014b und SCHREIBER 2016).

Während der Untersuchungen wurden alle Schweine mit jeglichen positiven oder zweifelhaften Befunden mittels Bolzenschuss nachbetäubt bzw. getötet. In jedem Fall war diese Art der

Nachbetäubung erfolgreich und kann demnach als geeignetes Nachbearbeitungsverfahren empfohlen werden (WOODS 2012).

Eine Kombination aus Betäubungs- und Entblutekontrolle, Überwachung von Spontانبewegungen in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutebeginn und einem abschließenden Heißwasser-Reiz-Test wäre eine sinnvolle Lösung um den Tierschutz am Schlachthof nachhaltig zu verbessern. Die ausgearbeiteten Arbeitsanweisungen für das Überwachungs- bzw. das Schlachthofpersonal können hierbei als Hilfestellung eingesetzt werden. Wie auch schon VON HOLLEBEN (2009) deutlich machte, ist für den Erfolg der Überwachung der gesamten Nachentblutestrecke jedoch die konstante Zugänglichkeit zu dieser entscheidend. Die Möglichkeit der Nachbetäubung bzw. Tötung der Schweine über die ersten Minuten nach Entblutestich hinaus kann nur bei Erfüllung dieses Kriteriums verwirklicht werden. Jedoch kann trotz einer optimalen Überwachung der Nachentblutestrecke nie ganz ausgeschlossen werden, dass Schweine erst bei Eintritt in die Brühanlage Lebenszeichen von sich geben, obwohl sie vorher „völlig regungslos und unauffällig gewesen sind“ (TROEGER 2010a). Diese Tierschutzproblematik muss jedoch zu 100 % unter Kontrolle gebracht werden; „Alles andere ist dem Verbraucher nicht zu vermitteln“, appelliert TROEGER (2010a). Eine Kontrolle des Todeseintritts der Schweine am Ende der Nachentblutestrecke mittels Heißwasser ist eine geeignete Möglichkeit um bei reversiblen Betäubungs- und nicht sicher funktionierenden Entblutekontrollverfahren den Tierschutz am Schlachthof deutlich zu verbessern. Einer 100 % irreversiblen Betäubung mittels tierschutzkonformer Betäubungsverfahren gegenüber gestellt kann dieses Verfahren jedoch trotzdem nur als Kompromisslösung für den Tierschutz gelten.

6 Ausblick

Das erste Ziel des gesamten Forschungsvorhabens, die Identifizierung des adäquaten Reizes, wurde erfolgreich abgeschlossen. Parallel zu den hier dargestellten Untersuchungen wurde zusammen mit dem bsi Schwarzenbek und der Firma BANSS die geplante Kamera- und Softwareentwicklung als mögliches automatisierbares Detektionsverfahren der Reaktions-Bewegungen von Schweinen vorangetrieben. Als geeignet erschien hierbei der Einsatz einer Monochrom-Flächenkamera vom Typ AVT MANTA G-033B (<http://www.stemmer-imaging.de/de/produkte/artikel/15259>). Diese Art von Kamera ist mit einer Gigabit Ethernet-Technologie ausgestattet. Sie ermöglicht einen Datenaustausch in Form von sogenannten Datenframes. Für die Bildverarbeitung soll die Software „CVB Optical Flow“ langfristig zum Einsatz kommen (<http://www.stemmer-imaging.de/de/produkte/serie/CVB.Optical-Flow>). Die Analyse von bewegten Bildinhalten, auch als optischer Fluss bezeichnet, stellt eine hochkomplexe Aufgabe dar, die nach Angaben des Herstellers durch die genannte Software gelöst werden kann. Kommt es zu einer Bewegungsrichtungsänderung, z. B. wenn sich ein Schlachtschwein nach Kontakt mit dem heißen Wasser entgegen der kontinuierlichen Beförderungsrichtung der Rohrbahn bewegt, erkennt das System diesen abweichenden Bewegungsvektor. Das Verfahren wird in der Überwachungs- und Straßenverkehrstechnik bereits erfolgreich eingesetzt.

Um insbesondere das Kamerasystem weiter zu entwickeln wurde im August 2014 genannte Industriekamera in Schlachthof A und des Weiteren in einem Schlachthof mit CO₂-Betäubung zusammen mit der Heißwasser-Reiz-Anlage für einen Langzeittest installiert. Zur Verbesserung der Bewegungserkennung bzw. um optische Störfaktoren weitestgehend zu eliminieren, wurde ein einheitlich blauer, nicht reflektierender Hintergrund hinter den an der Rohrbahn hängenden Schweinen angebracht. Die Kamera wurde rechtwinklig zur Nachentblutestrecke, im Abstand von einem Meter zu den Schweineköpfen befestigt. Die betrachtete Bildfläche beträgt 1,2 x 1 Meter. Die Heißwasser-Reiz-Anlagen der zwei Betriebe wurden nach Absprache weiter optimiert und zudem fest in die Schlachtbahnen installiert.

Ein langfristiges Ziel der automatisierten Anlage ist zudem es eine Lösung für die Bereitstellung des heißen Wassers und die Abwasserbehandlung nach Reizapplikation zu finden. Möglich erscheint die Gewinnung und Abführung des Heißwassers aus der bzw. zurück in die Brühanlage, da hier vom Schlachtbetrieb ohnehin bereits große Mengen heißen Wassers bereitgestellt werden müssen. Eine optimale technische Lösung hierfür ist bis dato nicht gefunden worden. Um möglichst viel des heraussprühenden Wassers der Reisanlage wieder aufzufangen wurde eine großzügige Auffangwanne um den Düsenstock der Konstruktion befestigt. Auch wurde der Wasserverbrauch gesenkt, indem die Anzahl der Düsenstockreihen von drei auf zwei reduziert wurden. Insgesamt arbeiten die Reisanlagen nun lediglich noch mit sechs Flachstrahldüsen. Des Weiteren wird der Wasserzufluss zwischen jedem Schwein kurz aus- und wieder eingeschaltet, was den Wasserverbrauch zusätzlich senkt. Ein in den Förderer der Rohrbahn installierter Schalter steuert das An- und Abschalten der Wasserbesprühung eines jeden Schlachtschweines. Die Sicherstellung einer konstanten Wassertemperatur von über 60 °C bei genanntem inkonstantem Wasserlauf wird mit Hilfe eines Durchlauferhitzers ermöglicht.

Im Ablauf der automatisierten „Todeskontrolle“ wird nun jedes Schwein für fünf Sekunden mit heißem Wasser besprüht; nach Beendigung der Reizung erfolgt die Videoaufzeichnung für sieben Sekunden. Die Software der Anlage wertet die Videosequenzen zeitgleich aus, wobei zum Abgleich der Daten ein Untersucher über ein Eingabeterminal seinen eigenen Beobachtungsbefund mit in das System eingibt. Ausschließliche Becken- bzw. Hintergliedmaßenbewegungen werden negiert. Ein Spezialist der Firma BANSS programmiert nun über diese gesammelten Daten die Software der Anlage derart, dass sie für die Auswertung der Bewegungsmuster reagierender Schweine langfristig voll automatisiert arbeiten kann. Erste Erfolge konnten bereits erzielt werden; das System kann bereits voll automatisiert arbeiten und erkennt hierbei 80 % der hirnstammpositiven Schlachtschweine (Stand Februar 2015).

Die Abb. 45 und 46 zeigen die aktuellen Heißwasser-Reisanlagen an den genannten zwei Schlachtbetrieben.

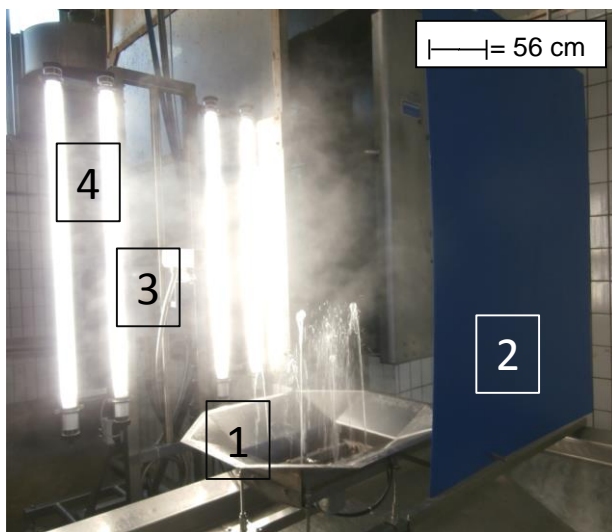


Abb. 45: Heißwasser-Reisanlage an Schlachthof A, installiert für die Langzeitstudie
 (1: Heißwasser-Reisanlage; 2: Hintergrundfläche;
 3: Monochrom-Flächenkamera; 4: Hochfrequenz
 Neonröhren)

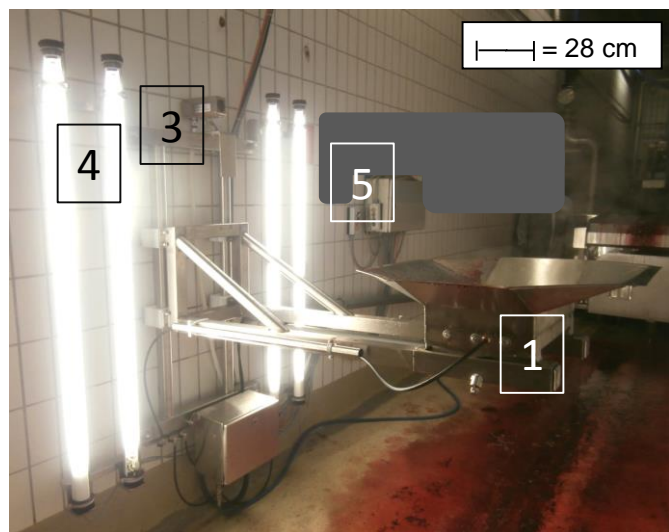


Abb. 46: Heißwasser-Reisanlage an einem Schlachthof mit CO₂-Betäubung, installiert für die Langzeitstudie
 (1: Heißwasser-Reisanlage; 3: Monochrom-
 Flächenkamera; 4: Hochfrequenz Neonröhren;
 5: Eingabeterminal und Datenverarbeitung)

Neben der Weiterentwicklung der Reisanlage, sollen die neu gewonnen Erkenntnisse zur tierschutzrelevanten Bewertung der Spontanbewegungen der Schlachtschweine auf der Nachentblutestrecke ebenfalls vertieft werden. So plant das bsi Schwarzenbek die Beantragung einer Weiterförderung durch das Landwirtschaftsministerium um auch diese Thematik zu vertiefen. Hierbei soll eine Kamera mit dreidimensionaler Bildverarbeitung zum Einsatz kommen, die ähnlich wie die Monochrom-Flächenkamera Bewegungsvektoren der Schlachtschweine bewerten kann.

7 Zusammenfassung

Sophie Arnold

Untersuchungen zur Todeskontrolle von Schlachtschweinen nach Elektrobetäubung – Einsatz eines automatisierten Heißwasser-Reiz-Verfahrens und Bewertung von Spontanbewegungen auf der Nachentblutestrecke

Institut für Lebensmittelhygiene, Veterinärmedizinischen Fakultät, Universität Leipzig, Deutschland

Eingereicht im Juni 2015

99 Seiten, 59 Abbildungen, 33 Tabellen, 143 Literaturangaben, 1 Anhang

Elektrobetäubung – Entblutung – Heißwasser – Schweineschlachtung – Tierschutz – Todeskontrolle

Moderne Schlachtsysteme tragen ein Risiko lebende Tiere weiterzuverarbeiten (SCHÜTTE und BOSTELMANN 2001, TROEGER 2005 und TROEGER und MEILER 2006). Gründe für dieses ernst zu nehmende tierschutzrelevante Problem sind eine ineffiziente Betäubung und/oder der Mangel an einer ausreichenden und schnellen Entblutung der Schweine. Die europäische Kommission hat 2009 die Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung implementiert (ANON. 2009). Die Studie schafft Grundlagen um eine automatisierte Methode zu entwickeln, welche die Abwesenheit von Lebenszeichen von Schlachtschweinen verifiziert. Die Hypothese hierbei ist die Annahme, dass Schweine, die auf einen schmerzhaften Reiz wie heißes Wasser mehrere Minuten nach der Entblutung reagieren mit dem Risiko eines zumindest teilweise funktionierenden Gehirns behaftet sind.

Die Studie fand an drei kommerziellen Schlachthöfen in Deutschland statt, die verschiedene elektrische Betäubungs- (Kopf-zu-Herz-Durchströmung) und Stechverfahren verwendeten. Insgesamt wurden am Schlachtband 5.301 Mastschweine im Hauptversuch untersucht und mittels Videokameras aufgezeichnet. Um die Abwesenheit von Lebenszeichen am Ende der Nachentblutestrecke, das heißt vier bis fünf Minuten nach Entblutestich, zu überprüfen wurde ein Heißwasser-Reiz mit 65 °C verwendet. Die Dauer der Reizapplikation betrug fünf bzw. 15 Sekunden. Eine automatisierte Reizapplikations-Anlage, erbaut von der Firma BANSS Schlacht- und Fördertechnik GmbH (Biedenkopf), induzierte den Stimulus vor allem im Bereich des Gesichts der Schweine. Als Referenz zu den Beobachtungen der Bewegungen während der Reiz-Applikation wurden Gehirnnerven-Reflexe (Corneal- und Lidschlussreflexe) und Reaktionen auf einen Kniff in die Nasenscheidewand klinisch untersucht. Schweine mit positiven Befunden wurden mittels Bolzenschuss nachbetäubt bzw. getötet.

Die Sensitivität des Heißwasser-Tests lag bei 99 %. Eines von 75 Tieren wies positive Corneal- und Lidschlussreflexe auf, obwohl dieses Schwein auf den Heißwasser-Reiz nicht reagiert hatte. Jedoch konnten deutlich erkennbare Spontanbewegungen jenes Tieres bereits vorher beobachtet werden. Die Spezifität des Heißwasser-Tests lag bei 98 %. Beinahe jedes Schwein mit negativen Gehirnnerven-Befunden blieb während der Reizapplikation unauffällig.

3,8 % (n = 199) der untersuchten Schweine zeigten eine Reaktion auf den Heißwasser-Reiz. Es war kein Unterschied zwischen dem fünf bzw. 15 Sekunden anhaltendem Reiz zu ermitteln. Neben einer ineffizienten Entblutung kann die reversible Betäubung als ein weiterer möglicher Grund für dieses Ergebnis genannt werden. Die Elektrische Betäubung ist reversibel, solange kein Herzkammerflimmern sicher ausgelöst wird (HOENDERKEN et al. 1980 und VOGEL et al. 2010). Es kann geschlussfolgert werden, dass die elektrische Kopf-zu-Herz-Durchströmung, die in den hier dargestellten Schlachtbetrieben verwendet wurde, nicht immer zum Herzkammerflimmern geführt hatte.

Die Anzahl der Reaktionen der Schweine auf das heiße Wasser war begrenzt. 92 % der Schweine, die den Kopf während der Reizapplikation geschüttelt hatten und 78 % derer, die eine aufrichtende Bewegung gezeigt hatten, wiesen mindestens einen positiven Gehirnnerven-Befund auf. Auffälligkeiten in den Vordergliedmaßen korrelierten zu 59 % und das Muster „Maul öffnen“ zu 52 % mit positiven Gehirnnerven-Befunden. Bewegungen aus dem Becken bzw. den Hintergliedmaßen heraus waren nur zu 21 % mit positiven Gehirnnerven-Befunden verbunden. Bei der Betrachtung der Bewegungsmusterkombinationen stellte die Autorin fest, dass nahezu keine Reaktion missachtet werden sollte. Lediglich das Muster „ausschließliche Bewegungen Becken/Hintergliedmaßen“ korrelierte in keinem der 59 Fälle mit positiven Gehirnnerven-Befunden. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Aussagen von GRANDIN (2013) und den Mitarbeitern des bsi Schwarzenbek (ANON. 2013a), die darauf hinwiesen, dass der caudale Körperabschnitt elektrisch betäubter Schlachtschweine zur Einschätzung ihres möglicherweise vorhandenen Bewusstseins keine Relevanz besitzt.

Während der Untersuchungen wurden außerdem Spontanbewegungen der Schlachtschweine zwischen dem Stechen und dem Heißwasser-Test analysiert. Jedes Tier, das eine Reaktion auf die Heißwasser-Reiz-Applikation zeigte und mindestens einen positiven Befund in der Gehirnnerven-Untersuchung aufwies, hatte vorher das Spontanbewegungsmuster „Maul öffnen“ durchgeführt. Um dem Überwachungs- und Schlachthofpersonal zu vermitteln, welche Spontanbewegungsmuster bzw. reizinduzierten Reaktionen bei der Beobachtung der Nachentblutestrecke entscheidend sind, wurden entsprechende Arbeitsanweisungen entwickelt. Bereits vorhandene Literatur wurde hierbei mit eingearbeitet (ANIL 1991, ATKINSON et al. 2012 und EFSA 2013).

Als eine wirksame Lösung um den sicheren Tod von Schweinen vor weiteren Schlachtarbeiten sicherzustellen, scheint es sinnvoll entsprechende Spontanbewegungen zu beachten und die Implementierung einer abschließenden Untersuchung mittels eines Heißwasser-Reiz-Tests am Ende der Nachentblutestrecke zu verwirklichen. Selbstverständlich sollten weiterhin die Betäubung und Entblutung der Tiere möglichst sicher kontrolliert werden. Für die Nachbetäubung bzw. Tötung der betroffenen Schweine wird der Einsatz eines Bolzenschussgerätes von der EFSA (2004), dem bsi Schwarzenbek und dem Max Rubner-Institut empfohlen.

8 Summary

Sophie Arnold

Studies on ascertaining death of slaughter pigs following electrical stunning – use of an automated hot-water-stimulation-process and evaluation of spontaneous movements along the debleeding line

Institute of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, University of Leipzig, Germany

Submitted in June 2015

99 pages, 59 figures, 33 tables, 143 references, 1 appendix

Electrical stunning – debleeding – hot water – pig slaughter – animal welfare – ascertaining death

Modern slaughter regimes carry a risk of live animals being further processed (SCHÜTTE and BOSTELMANN 2001, TROEGER 2005 and TROEGER and MEILER 2006). This serious animal welfare problem may result from inefficient stunning and/or lack of complete and fast exsanguination of the pigs. In 2009, the European Commission implemented Council Regulation (EC) No. 1099/2009 on the protection of animals at the time of killing (ANON. 2009). The study lays groundwork for developing an automated method to verify the absence of signs of life in slaughter pigs. The hypothesis is that pigs that react to a painful stimulus, like hot water, several minutes after debleeding have the risk of a partly functional brains. The study took place at three commercial abattoirs in Germany using different electrical stunning (head-to-body) and bleeding methods.

In the main part of the study a total of 5,301 finishing pigs was examined and videotaped on line. As a stimulus to check the absence of signs of life right before further processing, namely four to five minutes after sticking, a hot-water-stimulus at 65 °C was utilized. The residence time of the stimulus amounted either five or 15 seconds. An automated construction, built by the company BANSS Schlacht- und Fördertechnik GmbH (Biedenkopf/Germany), implemented the stimulus mainly within the faces of the pigs. As a reference to the observation of movements during the stimulation, brain stem reflexes (corneal and palpebral) and reactions to a nasal septum pinch were clinically examined. Pigs with any positive result were restunned or killed using a captive bolt device.

The sensitivity of the hot-water-test was determined at 99 %. One out of 75 animals exhibited positive corneal- and palpebral-reflexes although this one pig did not show any reaction to the hot water stimulation. However, obvious spontaneous movements of this animal could be observed beforehand. The specificity of the hot-water-test was determined at 98 %. Almost every pig with negative brain stem results remained motionless during the stimulation.

A share of 3.8 % (n = 199) of pigs showed movements during the hot water exposure. Es war kein Unterschied zwischen dem fünf bzw. 15 Sekunden anhaltendem Reiz zu ermitteln. No difference was estimated between the residence times of five versus 15 seconds. Besides inefficient bleeding one possible reason for this result is reversible stunning. Electrical stunning is reversible, unless effective cardiac arrest is caused (HOENDERKEN et al. 1980 and VOGEL et al. 2010). It may be assumed that after head-to-body electrical stunning used by the abattoirs displayed in this study cardiac arrest was not always achieved.

The number of individual responses was limited. 92 % of pigs that shook their heads during the stimulation and 78 % that showed a righting reflex exhibited at least one positive brain stem result. Noticeable front leg activity correlated to 59 % and the movement “opening of the mouth” to 52 % with positive brain stem results. Hips or hind leg movements were only associated with positive brain stem results in 21 % of the cases. By looking at the combinations of movements the author found that nearly no reaction should be ignored. Merely exclusive hips or hind leg movements in none of the 59 cases correlated with brain stem results. This finding is supported by the statements made by GRANDIN (2013) and the staff of the bsi Schwarzenbek (ANON. 2013a), pointing out that the caudal body part of electrically stunned slaughter pigs possesses no relevance to evaluating possible consciousness.

During the study additionally spontaneous movements of the slaughter pigs were analyzed between sticking and the hot water device. Every animal that eventually showed a reaction to the hot water stimulation and exhibited at least one positive result during the brain stem examination had shown spontaneous mouth opening. Appropriate working instructions for the monitoring personnel and the slaughter staff, in order for them to realize which spontaneous movements or stimulus induced reactions during the observations of the debleeding line are relevant, were designed. For this available expertise has additionally been taken into account (ANIL 1991, ATKINSON et al. 2012 and EFSA 2013).

As a suitable solution for ascertaining death before further processing, the idea of paying attention to slaughter pigs that obviously show signs of recovery and the implementation of a “last check” by using a hot water test right before further processing seems reasonable. Of course the stunning and exsanguination should still be safely monitored. The use of a captive bolt device to restun or kill “suspicious” pigs is recommended by the EFSA (2004), the bsi Schwarzenbek and the Max Rubner-Institute.

9 Literaturverzeichnis

Albe-Fessard D, Berkley K, Kruger L, Ralston H, Willis Jr W. Diencephalic mechanisms of pain sensation. Brain Research Reviews. 1985;9(3):217-96.

Anil MH. Studies on the return of physical reflexes in pigs following electrical stunning. Meat Science. 1991;30(1):13-21.

Anil MH, McKinstry JL. The effectiveness of high frequency electrical stunning in pigs. Meat Science. 1992;31(4):481-91.

Anil MH, McKinstry JL, Wotton S. Elektrische Betäubung und Schweineschlachtung - Richtlinien zum Tierschutz. Fleischwirtschaft. 1997;77:473-6-2.

Anil MH, McKinstry JL. Variations in electrical stunning tong placements and relative consequences in slaughter pigs. The Veterinary Journal. 1998;155(1):85-90.

Anil MH, Whittington PE, McKinstry JL. The effect of the sticking method on the welfare of slaughter pigs. Meat Science. 2000;55(3):315-9.

Anon. (1972). Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 90 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154) geändert worden ist.

Anon. (1997). Gesetz über die Spende, Entnahme und Übertragung von Organen und Geweben (Transplantationsgesetz - TPG). Transplantationsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. September 2007 (BGBl. I S. 2206), das zuletzt durch Artikel 5d des Gesetzes vom 15. Juli 2013 (BGBl. I S. 2423) geändert worden ist.

Anon. (2007a). Bundesärztekammer (B. Ä. K.). Richtlinien zur Feststellung des Hirntodes, 3. Fortschreibung 1997 mit Ergänzungen gemäß Transplantationsgesetz (TPG). 2014.

Anon. (2007b). Tierärztlichen Vereinigung für Tierschutz e.V. Tierschutzgerechtes Schlachten von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen. Merkblatt Nr. 89. Stand Oktober 2007.

Anon. (2009). Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 24. September 2009 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung. Amtsblatt der Europäischen Union. ABl. L 303 vom 18.11.2009.

Anon. (2010). ARD-Tagesthemen. 2010 (zitiert vom 29.3.2010):
<<http://www.tagesschau.de/multimedia/sendung/tt2180.html><.

Anon. (2012a). Kleine Anfrage der Abgeordneten Bärbel Höhn, Friedrich Ostendorff, Undine Kurth (Quedlinburg), Nicole Maisch, Cornelia Behm, Harald Ebner, Markus Tressel und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Tierschutz bei der Tötung von Schlachttieren. Drucksache 17/9824 vom 25.05.2012.

Anon. (2012b). N-TV. Praxis auf deutschen Schlachthöfen. In fünf Sekunden kommt der Tod. 2012 (zitiert vom 21.6.2012):

<<http://www.n-tv.de/politik/In-fuenf-Sekunden-kommt-der-Tod-article6550096.html><.

Anon. (2012c). Beschluss des Bundesrates. Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates (Tierschutz-Schlachtverordnung - TierSchlV). Drucksache 672/12 vom 14.12.2012.

Anon. (2012d). Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates. Tierschutz-Schlachtverordnung vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2982).

Anon. (2013a). bsi Schwarzenbek. Gute fachliche Praxis der tierschutzgerechten Schlachtung von Rind und Schwein. 2014 (zitiert vom 01.04.2014):

<<http://www.bsi-schwarzenbek.de/><.

Anon. (2013b). Fokus Online. Verbot von Akkord-Schlachtungen? 500 000 Schweine verbrühen bei lebendigem Leib. 2013 (zitiert vom 22.10.2013):

<http://www.focus.de/politik/deutschland/hoehn-fuer-verbot-von-akkord-schlachtungen-500-000-schweine-verbruehen-bei-lebendigem-leib_aid_1135979.html<.

Anon. (2014a). International Association for the Study of Pain. 2014 (zitiert vom 26.05.2014):

<<http://www.iasp-pain.org/><.

Anon. (2014b). Canadian Council on Animal Care in science. Electrical Stunning. 2014 (zitiert vom 03.06.2014):

<http://www.ccac.ca/en_/standards/guidelines/additional/additional-information-on-effects-of-euthanasia-methods-on-research-results/electrical-stunning<.

Anon. (2014c). Politischer Arbeitskreis für Tierrechte e.V. (Pakt e.V.). Mehrere Artikel zum Thema: Videoüberwachung in den Schlachthöfen. 2014 (zitiert vom 04.06.2014):

<<http://www.paktev.de/schlachten-1.html><.

Anon. (2014d). Handbuch Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung, Vollzug der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 24. September 2009 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung sowie der Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates (Tierschutz-Schlachtverordnung – TierSchlV) vom 20. Dezember 2012. Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV) des Landes Brandenburg. D 1.4.11.1

Anon. (2015). SWR Fernsehen. Mangelhafte Kontrolle! Viele Tiere werden beim Schlachten weiterverarbeitet - obwohl sie noch leben. 2015 (zitiert vom 22.01.2015):

<<http://www.swr.de/odysso/mangelhafte-kontrolle-viele-tiere-werden-beim-schlachten-weiterverarbeitet-obwohl-sie-noch-leben//id=1046894/nid=1046894/did=13451582/d5luft/index.html>>.

Anton F, Peppel P, Euchner I, Handwerker HO. Controlled noxious chemical stimulation: responses of rat trigeminal brainstem neurones to CO₂ pulses applied to the nasal mucosa. *Neuroscience Letters*. 1991;123(2):208-11.

Anton F, Euchner I, Handwerker HO. Psychophysical examination of pain induced by defined CO₂ pulses applied to the nasal mucosa. *Pain*. 1992;49:53-60.

Arnold S (2014a), Fischer J, Sprenger A, Parotat S, von Wenzlawowicz M, Moje M, Troeger K, Lückner E. Entwicklung automatisierter Kontrollsysteme zur Todeskontrolle bei Schlachtschweinen. 19. Internationale Fachtagung zum Thema Tierschutz; 2014; München: DVG.

Arnold S (2014b), Parotat S, von Wenzlawowicz M, Moje M, Troeger K, Lückner E. Entwicklung einer automatisierten Methode zur Feststellung der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit von Mastschweinen vor der Weiterverarbeitung. 49. Kulmbacher Woche; 2014; Kulmbach: Max Rubner- Institut, Standort Kulmbach.

Atkinson S, Velarde A, Llonch P, Algers B. Assessing pig welfare at stunning in Swedish commercial abattoirs using CO₂. *Animal Welfare*. 2012;21:487-95.

Bager F, Braggins T, Devine C, Graafhuis A, Mellor D, Tavener A, Upsdell M. Onset of insensibility at slaughter in calves: effects of electroplectic seizure and exsanguination on spontaneous electrocortical activity and indices of cerebral metabolism. *Research in Veterinary Science*. 1992;52(2):162-73.

Bear MF, Connors BW, Engel A, Held A, Hornung C, Jarosch B, Lange C, Maxam G, Niehaus-Osterloh M, Paradiso MA. Neurowissenschaften: ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie. Spektrum Akademischer Verlag; 2008. p. 228-235, p. 274-301, p. 425-468.

Becerril-Herrera M, Alonso-Spilsbury M, Lemus-Flores C, Guerrero-Legarreta I, Olmos-Hernández A, Ramírez-Necoechea R, Mota-Rojas D. CO₂ stunning may compromise swine welfare compared with electrical stunning. *Meat Science*. 2009;81(1):233-7.

Behrendt H-J. Vergleichende funktionale Untersuchungen des Hitze-Capsaicin-Rezeptors (TRPV1) und des Kälte-Menthol-Rezeptors (TRPM8) in rekombinanten und nativen Zellsystemen (verwendete Spezies: Mensch, Ratte und Maus) [Dissertation rer. nat.]. Bochum: Ruhr-Universität Bochum; 2004.

Berghaus A, Troeger K, editors. Electrical stunning of pigs: Minimum current flow time required to induce epilepsy at various frequencies. *International Congress of Meat Science and Technology*; 1998; Barcelona, Spain. 44:1070-1071.

Bingmann D. Pathophysiologie der Epilepsien. In: Bauer G, Fröscher W, Hrsg. *Die Epilepsien: Grundlagen, Klinik, Behandlung*. 2. Aufl. New York: Schattauer Verlag; 2004. p. 42-59.

Binke R. Vom Muskel zum Fleisch. *Mitteilungsblatt-Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach*. 2003:347-54.

Birnbacher D. Lässt sich das Töten von Tieren rechtfertigen? Aus: *Texte zur Tierethik*. Herausgeber: Philipp Reclam jun. GmbH & Co. KG. Stuttgart 2008. p. 225.

Birbauer N, Schmidt RF. Untersuchung der Hirnaktivität des Menschen. In: Schmidt RF, Schaible H-G, Hrsg. 5. Aufl. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2006.

Blackmore DK, Newhook JC. Insensibility during slaughter of pigs in comparison to other domestic stock. *New Zealand Veterinary Journal*. 1981;29(12):219-22.

Bodnar RJ, Glusman M, Brutus M, Spiaggia A, Kelly DD. Analgesia induced by cold-water stress: attenuation following hypophysectomy. *Physiology & behavior*. 1979;23(1):53-62.

Briese A. Studie zum Verhalten von Schlachtschweinen nach einer Elektrobetäubung (Reaktionsprüfungen am Auge sowie an Rüsselscheibe und Nasenscheidewand) mit besonderer Berücksichtigung der Elektrodenposition, Stun-Stick-Time und der verwendeten Stromformen [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Universität Berlin; 1996.

Bromm B, Chen AC. Brain electrical source analysis of laser evoked potentials in response to painful trigeminal nerve stimulation. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 1995;95(1):14-26.

Bromm B, Desmedt JE. *Pain and the Brain: From Nociception to Cognition (Advances in Pain Research & Therapy)*. Volume 22. Raven Press, New York. 1995.

Bromm B, Lorenz J. Neurophysiological evaluation of pain. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*. 1998;107:227-53.

Carpenter DO, Hubbard JH, Humphrey DR, Thompson HK, Marshall WH. Carbon dioxide effects on nerve cell function. In: *Carbon Dioxide and Metabolic Regulations*: Springer-Verlag; 1974. p. 49-62.

Casey KL, Minoshima S, Morrow TJ, Koeppe RA. Comparison of human cerebral activation pattern during cutaneous warmth, heat pain, and deep cold pain. *Journal of Neurophysiology*. 1996;76(1):571-81.

Caterina MJ, Schumacher MA, Tominaga M, Rosen TA, Levine JD, Julius D. The capsaicin receptor: a heat-activated ion channel in the pain pathway. *Nature*. 1997;389(6653):816-24.

Chalkias A, Xanthos T. Post-cardiac arrest brain injury: pathophysiology and treatment. *Journal of the neurological sciences*. 2012;315(1):1-8.

Chapman CR, Casey K, Dubner R, Foley K, Gracely R, Reading A. Pain measurement: an overview. *Pain*. 1985;22(1):1-31.

Christie JM, O'Lenic TD, Cane RD. Head turning in brain death. *Journal of clinical anesthesia*. 1996;8(2):141-3.

Cook CJ, Devine CE, Gilbert KV, Smith DD, Maasland SA. The effect of electrical head-only stung duration on electroencephalographic-measured seizure and brain amino-acid neurotransmitter release. *Meat Science*. 1995;40(2):137-47.

D'amour FE, Smith DL. A method for determining loss of pain sensation. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. 1941;72(1):74-9.

Dalla Costa E, Minero M, Lebelt D, Stucke D, Canali E, Leach MC. Development of the Horse Grimace Scale (HGS) as a Pain Assessment Tool in Horses Undergoing Routine Castration. *PloS one*. 2014;9(3):e92281.

Davis KD, Kwan CL, Crawley AP, Mikulis DJ. Functional MRI study of thalamic and cortical activations evoked by cutaneous heat, cold, and tactile stimuli. *Journal of Neurophysiology*. 1998;80(3):1533-46.

Deiss-Hemmeter U. Prüfung der Effektivität der Elektrostimulation auf die Fleischqualität bei Schlachtschweinen [Dissertation med. vet.]. München: Ludwigs-Maximilians-Universität; 2005.

Dinsmore J, Garner A. Brain stem death. *Surgery*. Oxford. 2009;27(5):216-20.

European Food Safety Authority (EFSA). Welfare aspects of animal stunning and killing methods. Scientific Report of the Scientific Panel for Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of animal stunning and killing methods. 2004. Question N° EFSA-Q-2003-093. AHAW/04-027.

European Food Safety Authority (EFSA). Scientific opinion on monitoring procedures at slaughterhouses for pigs. The EFSA Journal 2013;11(12):3523.

Erhardt W, Ring C, Kraft H, Schmid A, Weinmann H, Ebert R, Schläger B, Schindele M, Heinze R, Lomholt N. [CO₂-stunning of swine for slaughter from the anesthesiological viewpoint]. DTW. Deutsche tierärztliche Wochenschrift. 1989;96(3):92-9.

Friesen WV, Ekman P. EMFACS-7: Emotional facial action coding system. Unpublished manuscript. University of California at San Francisco. 1983;2:36.

Gardiner D, Shemie S, Manara A, Opdam H. International perspective on the diagnosis of death. British Journal of Anaesthesia. 2011;108(1):14-28.

Grandin T. Auditing animal welfare at slaughter plants. Meat Science. 2010;86(1):56-65.

Grandin T. Developing measures to audit welfare of cattle and pigs at slaughter. Animal Welfare. 2012;21(3):351-6.

Grandin T. Recommended Animal Handling Guidelines and Audit Guide, A Systemic Approach to Animal Welfare. American Meat Institute Foundation. 2013.

Gregory A, Slader R. A computerized method for monitoring blood flow rate and quantity during sticking of slaughtered meat animals. Computers and electronics in agriculture. 1988;3(2):171-5.

Gregory NG, Grandin T. Stunning and Slaughter Animal welfare and meat science. CABI Publishing; 1998. p. 79-92.

Gregory NG. Stunning and Slaughter. In: Gregory NG, Grandin T, Hrsg. Animal welfare and meat production. CABI Publishing; 2007. p. 196.

Hall LW, Trim CM, Woolf N. Further studies of porcine malignant hyperthermia. British Medical Journal; 1972;2(5806):145-148.

Haupt W, Firsching R, Hansen H, Horn M, Janzen R, Neuen-Jacob E, Prange H, Rudolf J, Zschocke S. Das akute postanoxische Koma: Klinische, elektrophysiologische, biochemische und bildgebende Befunde. Intensivmedizin und Notfallmedizin. 2000;37(7):597-607.

Handwerker HO. Allgemeine Sinnesphysiologie. Somatosensorik. In: Schmidt RF, Schaible H-G, Hrsg. 5. Aufl. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2006. p. 182-228.

Handwerker HO, Schaible H-G. Nozizeption und Schmerz. In: Schmidt RF, Schaible H-G, Hrsg. 5. Aufl. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2006. p. 229-242.

Hoenderken R, Lambooy E, van Logtestijn J, Sybesma W, editors. Dutch research on stunning of slaughter animals. Proceedings of the 26th European Meeting of Meat Research Workers Colorado Springs; 1980.

Hughes J. Isolation of an endogenous compound from the brain with pharmacological properties similar to morphine. Brain research. 1975;88(2):295-308.

Kant I. Eine Vorlesung über Ethik (1784/85). Gerd Gerhardt, Hrsg. Frankfurt a. M. 1990, p. 202.

Kaplan HF. Philosophie des Vegetarismus – Kritische Würdigung und Weiterführung von Peter Singers Ansatz. Lang; 1988.

Karsch W. Vergleichende Untersuchungen zur Fleischqualität von Rinderschlachtkörpern nach horizontaler und vertikaler Bandschlachtung unter besonderer Berücksichtigung des Ausblutungsgrades [Dissertation vet. med.]. Berlin: Freie Universität Berlin; 1997.

Kobal G. Pain-related electrical potentials of the human nasal mucosa elicited by chemical stimulation. Pain. 1985;22(2):151-63.

Kollmann-Fakler V. Prognosekriterien und Outcome der hypoxischen Hirnschädigung nach Herz-Kreislauf-Stillstand [Dissertation med.]. München: Ludwig-Maximilians-Universität; 2011.

Lambooy B, Merkus G, Voorst N, Pieterse C. Effect of a low voltage with a high frequency electrical stunning on unconsciousness in slaughter pigs. Fleischwirtschaft. 1996;76(12):1327-8.

Löffler G. Der Energiestoffwechsel des zentralen Nervensystems. In: Löffler G, Hrsg. Basiswissen Biochemie. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag; 2001. p. 715-718.

Lykke L, Arnmark P, Borggaard C. Sichtkontrollsystem für das Stechen. Fleischwirtschaft. 2010;90(7):22-3.

Madea B. Feststellung des Todes. In: Madea B, Hrsg. Praxis Rechtsmedizin - Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag; 2003. p. 17-22.

Männl M. Betäubung und Entblutung von Schwein und Rind. In: Institut für Technologie der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach, Hrsg. Schlachtung von Schwein und Rind. Kulmbach: Kulmbacher Reihe, Band 13; 1994. p. 62-83.

Martoft L, Lomholt L, Kolthoff C, Rodriguez B, Jensen E, Jørgensen PF, Pedersen H, Forslid A. Effects of CO₂ anaesthesia on central nervous system activity in swine. *Laboratory animals*. 2002;36(2):115-26.

Meiler D, Troeger K, Moje M, Dederer I, Peschke W, Götz K-U, Stolle A. Qualitätssicherung bei der Entblutung von Schlachtschweinen – Einfluss auf die Fleischqualität. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*. 2005;44:(168):77-83.

Meiler D. Kontrolle des Entbluteerfolges bei der Schweineschlachtung im Hinblick auf Tierschutz und mögliche Auswirkungen auf Ausblutungsgrad und Fleischqualität [Dissertation vet. med.]. München: Ludwig-Maximilians-Universität; 2006.

Meiler D, Troeger K, Moje M, Dederer I, Peschke W, Götz K-U, Stolle A. Entblutung von Schlachtschweinen, Auswirkung auf Ausblutungsgrad und Fleischqualität. *Fleischwirtschaft*. 2006;9:136-9.

Moje M, Schurr B. Betrieb einer CO₂-Backloaderanlage. *Fleischwirtschaft*. 2003;83(10):122-5.

Newhook JC, Blackmore DK. Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves - 1. The onset of permanent insensibility in sheep during slaughter. *Meat Science*. 1982;6(3):221-33.

Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band I, Bewegungsapparat. 8. Aufl. Stuttgart: Parey Verlag; 2003. p. 465-470, p. 555-585.

Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Band IV: Nervensystem, Sinnesorgane, Endokrine Drüsen. 4. Aufl. Stuttgart: Parey Verlag; 2004. p. 62-63, p. 126-133, p. 305-329.

Nowak B, Mueffling TV, Hartung J. Effect of different carbon dioxide concentrations and exposure times in stunning of slaughter pigs: Impact on animal welfare and meat quality. *Meat Science*. 2007;75(2):290-8.

Pallis C (1982a). ABC of Brain Stem Death - From brain death to brain stem death. *British Medical Journal*. 1982;285:1487-90.

Pallis C (1982b). ABC of Brain Stem Death - Diagnosis of brain stem death I. *British Medical Journal*. 1982;285:1558-60.

Pallis C (1982c). ABC of Brain Stem Death - Diagnosis of brain stem death II. British Medical Journal. 1982;285:1641-4.

Petch PE. Electrical Inputs and Meat Processing. In: Hui YH, Nip W-K, Rogers R, Young OA, Hrsg. Meat Science and Applications. New York, USA. Marcel Dekker Inc.; 2001.

Pichlmayr I, Lips U, Künkel H. Narkosestadien. In: Pichlmayr I, Lips U, Künkel H, Hrsg. Das Elektroenzephalogramm in der Anästhesie - Grundlagen, Anwendungsbereiche, Beispiele. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag; 1983. p. 70-76.

Püttgen HA, Geocadin R. Predicting neurological outcome following cardiac arrest. Journal of the Neurological Sciences. 2007;261(1):108-17.

Raj A, Johnson S, Wotton S, McKinsty J. Welfare implications of gas stunning pigs: 3. the time to loss of somatosensory evoked potential and spontaneous electrocorticogram of pigs during exposure to gases. The Veterinary Journal. 1997;153(3):329-39.

Raj A. Behaviour of pigs exposed to mixtures of gases and the time required to stun and kill them: welfare implications. Veterinary Record. 1999;144(7):165-8.

Regan T. The case for animal rights. 2. Aufl. Berkeley, Los Angeles: University of California Press; 1987. p. 73-78, p. 99-103.

Rodriguez P, Dalmau A, Ruiz-De-La-Torre J, Manteca X, Jensen E, Rodriguez B, Litvan H, Velarde A. Assessment of unconsciousness during carbon dioxide stunning in pigs. Animal welfare. 2008;17(4):341-9.

Saposnik G, Basile VS, Young GB. Movements in Brain Death: A Systematic Review. Le Journal Canadien des Sciences Neurologiques. 2009;36:154-60.

Scholz OB. Schmerzmessung und Schmerzdiagnostik: Methoden, Analysen, Ergebnisse am Beispiel rheumatischer Erkrankungen. Karger Medical and Scientific Publishers; 1994.

Schopenhauer A. Über das Fundament der Moral. Hermannsche Buchhandlung; 1841.

Schreiber S. Dissertation in Vorbereitung. Vorläufiger Titel: Automatisierte Feststellung des Todes vor weiteren Schlachtarbeiten bei mittels Kohlendioxid betäubten Schweinen. [Dissertation med. vet.]. Leipzig: Institut für Lebensmittelhygiene der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig; 2016.

Schütte A, Bostelmann N. Statuserhebung zur Effektivität der CO₂-Betäubung von Schlachtschweinen in der BRD gemäß der derzeit gültigen Tierschutz-Schlachtverordnung, sowie Untersuchungen über deren Beeinflussung durch externe und interne (tierspezifische) Faktoren. BMVEL-Forschungsauftrag 97HS032. 2001;167.

Schweiger A, Fischer J, Troeger K. Entblutestich optimal ansetzen: Untersuchungen zu Art und Umfang von Gefäßdurchtrennungen entlang des Stichkanals von Schlachtschweinen. Fleischwirtschaft. 2012;92(8):33-6.

Silbernagl S, Despopoulos A. Taschenatlas Physiologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2012. p. 60-61, p. 104-105.

Singer P, Bischoff O, Klose D, Wolf J-C. Praktische Ethik. Reclam Stuttgart; 1994.

Singer P. Animal Liberation: The Definitive Classic of the Animal Movement. HarperCollins Verlag; 2009.

Sparrey J, Wotton S. The design of pig stunning tong electrodes - A review. Meat Science. 1997;47(1):125-33.

Sprenger A, Fischer J, Troeger K, Lücker E. Automatische Kontrolle des Entbluteverlaufs bei Schweinen. 49. Kulmbacher Woche; 2014; Kulmbach: Max Rubner- Institut, Standort Kulmbach.

Stoffel MH. Funktionelle Neuroanatomie für die Tiermedizin. Georg Thieme Verlag; 2010. p. 52-64, p. 72-76, p. 158.

Treede R-D, Kief S, Hölzer T, Bromm B. Late somatosensory evoked cerebral potentials in response to cutaneous heat stimuli. Electroencephalography and clinical neurophysiology. 1988;70(5):429-41.

Troeger K, Woltersdorf W (1988a). Tierschutzaspekte der manuellen Elektrobetäubung von Schlachtschweinen mittels Zange. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach. 1988;99:7773-7.

Troeger K, Woltersdorf W (1988b). Optimierte Elektrobetäubungsverfahren für Schlachtschweine. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach. 1988;100:7909-17.

Troeger K, Moje M, Schurr B. Kontrolle der Entblutung, Voraussetzung für eine tierschutzkonforme Schweineschlachtung. Fleischwirtschaft. 2005;2:107-10.

Troeger K, Meiler D. Tötung von Schlachtschweinen durch Blutentzug, Entwicklung eines praxisgerechten Kontrollverfahrens - Machbarkeitsstudie. Fleischwirtschaft. 2006;10:115-8.

- Troeger K. Fleischgewinnung und -behandlung. In: Branscheid W, Honikel KO, von Lengerken G, Troeger K, Hrsg. Qualität von Fleisch und Fleischwaren. 2. Auflage. Frankfurt: Deutscher Fachverlag; 2007. p. 405-27.
- Troeger K (2010a). Interview: Tierschutz muss unter Kontrolle sein. Fleischwirtschaft. 2010;5:8-10.
- Troeger K (2010b). Kontrollmöglichkeiten der Wirksamkeit von Betäubung und Entblutung bei der industriellen Schlachtung. Amtstierärztlicher Dienst und Lebensmittelkontrolle. 2010;3.
- Troeger K (2010c). Sicherstellung der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit von Schlachtschweinen zwischen Betäubung und Tod. Rundschau für Fleischhygiene und Lebensmittelüberwachung. 2010;9:312-3.
- Troeger K. Kontrolle des Entbluteerfolges bei der Schweineschlachtung mit Hilfe einer Wärmebildkamera. Fleischwirtschaft. 2011;9:119-22.
- Vandeveld M, Frankhauser R, Lang J. Veterinärmedizinische Neurologie. 2. Aufl. Berlin, Hamburg: Parey Verlag. 2001. p. 20-24, p. 186, p. 199-200.
- Velarde A, Gispert M, Faucitano L, Manteca X, Diestre A. Survey of the effectiveness of stunning procedures used in Spanish pig abattoirs. Veterinary Record. 2000;146(3):65-8.
- Velarde A, Ruiz-de-la-Torre J, Rosello C, Fabrega E, Diestre A, Manteca X. Assessment of return to consciousness after electrical stunning in lambs. Animal Welfare. 2002;11(3):333-41.
- Verhoeven MT, Gerritzen MA, Hellebrekers LJ and Kemp B. Indicators used in livestock to assess unconsciousness after stunning: a review. Animal. 2015; 9(02), 320-330
- Vogel KD, Badtram G, Claus JR, Grandin T, Turpin S, Weyker RE, Voogd E. Head-only followed by cardiac arrest electrical stunning is an effective alternative to head-only electrical stunning in pigs. Journal of Animal Science. 2010;89(5):1412-8.
- Vogel P. Kursbuch Klinische Neurophysiologie - EMG - ENG - Evozierte Potentiale. 3. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2011. p. 140.
- von der Pfordten D. Zur Würde des Menschen bei Kant. Jahrbuch für Recht und Ethik. 2006;14. p. 501.
- von Holleben K. Intelligent prevention of fail stunning. Fleischwirtschaft international: journal for meat production and meat processing. 2009(2):26-30.

von Wenzlawowicz M, Schütte A, von Holleben K, von Altrock A, Bostelmann N, Roeb S. Felduntersuchung der MIDAS-Schweinebetäubungsanlage mit Inarco-Systeme hinsichtlich Tierschutz und Schlachtkörperqualität. *Fleischwirtschaft*. 1998;6:731.

von Zweigbergk AJ, Lundstrom K, Hansson I. The incidence of high internal reflectance 45 minutes PM with different stunning methods. *Proceedings of the 35th International Congress of Meat Science and Technology*. 1989. p. 1145-1148.

Warriss P. Factors affecting the residual blood content of meat. *Meat science*. 1978;2(2):155-9.

Warriss P, Leach TM. The influence of slaughter method on the residual blood content of meat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1978;29(7):608-10.

Warriss P, Brown S, Knowles T. Measurements of the degree of development of rigor mortis as an indicator of stress in slaughtered pigs. *The Veterinary Record*. 2003;153(24):739-42.

Wiesner E, Ribbeck R. *Lexikon der Veterinärmedizin*. 4. Aufl. Stuttgart: Enke im Hippokrates Verlag; 2000. p. 1464.

Wijdicks EF. *Brain death*. 2. Aufl. New York: Oxford University Press. 2001. p. 32-59.

Woods J. Analysis of the use of the "CASH" Dispatch Kit captive bolt gun as a single stage euthanasia process for pigs. [Masterarbeit, MS]. Ames, Iowa, USA: Iowa State University; 2012.

Wotton S, Gregory N. Pig slaughtering procedures: time to loss of brain responsiveness after exsanguination of cardiac arrest. *Research in Veterinary Science*. 1986;40(2):148-51.

Wotton S. Sticking techniques and exsanguination in pigs, sheep and calves. *Meat Focus International*. 1996(7):234-7.

Zimmermann M. Physiologie von Nozizeption und Schmerz. In: Basler HD, Franz C, Kröner-Herwig B, Rehfisch HP, Hrsg. *Psychologische Schmerztherapie*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag; 2004. p. 17-58.

10 Anhang

Tab. 22: Parameter der aufgesuchten deutschen Schlachtbetriebe mit elektrischen Betäubungsverfahren

	Schlachthof A	Schlachthof B	Schlachthof C
Jahres-Schlachtleistung (Schweine / Jahr)	540.000	220.000	1.000
Stunden-Schlachtleistung (Schweine / Stunde)	300	200	50
Schlachtdauer pro Tag (Stunden)	7	6	1,5
Betäubungsverfahren	Vollautomatisch	Halbautomatisch	Manuell
Hersteller Betäubungsanlage	MPS	MPS / Fuhrmann	Schermer
Gerätetyp Betäubungsanlage	MIDAS	Trafo: FBT 2010 – A2 Zange: FBTZ-G Herzelektrode: FBTH	Trafo: LC-1 Zange: ZK-1
Voreinstellungen Betäubung:			
Gesamtzyklus Kopf und Herz	2,3 s	4 s	8 s
Stromform	Sinusförmiger Wechselstrom	Rechteckiger Wechselstrom	Sinusförmiger Wechselstrom
Kopf	2,4 A (max. 270 V, 800 Hz) für 0,8 s	1,3 A (max. 360 V, 500 Hz) für 1,5 s	1,6 A (max. 230 V, 50 Hz) für 4 s
Kopf-zu-Herz	1,3 A (max. 90 V, 50 Hz) für 1,6 s	1,0 A (max. 360 V, 100 Hz) für 2,5 s	1,6 A (max. 230 V, 50 Hz) für 4 s
Stun-to-stick Interval	< 10 s	< 9 s	< 6 s
Stechverfahren	Hohlmesser mit 2 Klingen und Klingenhals (KH)	Stechmesser (eine Klinge)	Stechmesser (eine Klinge)
Position Schwein beim Stich	Liegend	Liegend	Hängend
Abmessungen Klinge (Breite x Länge in cm)	4 x 11,5 / 16,8 (Klingenhals)	2,5 x 12,5	3,2 x 18

Anhang

	Schlachthof A	Schlachthof B	Schlachthof C
Nachbetäubungsverfahren	Elektrisch Hersteller Karl Schermer: Transformator: EC-2-1 Zwei-Hand-Zange: ZK-1 1,6 A (max. 250 V; 50 Hz)	Elektrisch Hersteller Fuhrmann: Transformator: FB 2000-05/„B“ Zwei-Hand-Zange: EBZ 1,3 A (max. 360 V, 500 Hz)	Bolzenschuss Hersteller Accles and Shelvoke: Gerätetyp: CASH Magnum schwarze Kartusche, Kaliber: 20
Mögliche Nachbetäubung	Bis 2 min nach Betäubungsende	Bis 3 min nach Betäubungsende	Bis 6 min nach Betäubungsende
Betäubungsende bis Anschlingen (Min)	2	1,5	-
Anschlingen bis Ende Nachentblutestrecke (Min)	3	6	8
Länge Rohrbahn ab Anschlingen (m)	10	8,5	12
Kapazität Nachentblutestrecke (Schwein / m)	2	1,8	0,6
Zugänglichkeit der Nachentblutestrecke	Die ersten 50 %	100 %	Die ersten 75 %
Erster Schritt weiterer Schlachtarbeiten	Kondensbrüfung	Vorwäsche	Kesselbrüfung
Personal	1 Stecher, 1 Anschlinger	1 Betäuber, 1 Stecher, 1 Anschlinger	1 Betäuber/Stecher, 1 Anschlinger

A = Ampere, V = Volt, Hz = Hertz, max. = maximal, s = Sekunde, Min = Minute, m = Meter

Tab. 23: Schlachthof A, Reizdauer 15 Sekunden, Bewegungsmuster¹ während der Heißwasser-Reizapplikation korreliert mit Gehirnnerven-Befunden

	MÖ	KSV	HZ	BRH	SV	BK	TGV	KS	TDS
n²	35	36	26	23	18	15	7	12	4
Negativ	14 (40 %)	14 (39 %)	2 (8 %)	12 (52 %)	2 (11 %)	2 (13 %)	-	1 (8 %)	-
Positiv (+/++)	21 (60 %)	22 (61 %)	24 (92 %)	11 (48 %)	16 (89 %)	13 (87 %)	7 (100 %)	11 (92 %)	4 (100 %)
n³	21	22	24	11	16	13	7	11	4
AT (+)	4 (19 %)	7 (32 %)	3 (13 %)	3 (27 %)	1 (6 %)	3 (23 %)	2 (29 %)	2 (18 %)	-
NST (+)	11 (52 %)	9 (41 %)	13 (54 %)	5 (46 %)	8 (50 %)	6 (46 %)	2 (29 %)	5 (46 %)	2 (50 %)
Doppelt (++)	6 (29 %)	6 (27 %)	8 (33 %)	3 (27 %)	7 (44 %)	4 (31 %)	3 (42 %)	4 (36 %)	2 (50 %)

¹ MÖ = Maul öffnen; HZ = Hochziehen; KS = Kopf schütteln; TDS = Tonisch dorsales Strecken; SV = Strampelnde Vordergliedmaße; KSV = Kurzes Strecken Vordergliedmaßen; BK = Beugen Karpalgelenk; TGV = Tonisch gestreckte Vordergliedmaße; BBH = Bewegung Becken/Hintergliedmaße

² Anzahl Schweine mit genanntem Bewegungsmuster während der Reizapplikation

³ Anzahl Schweine mit einfach oder doppelt positiver Gehirnnerven-Befund

AT = Augentest, NST = Nasenscheidewandtest, Doppelt = Augen- und Nasenscheidewandtest

Tab. 24: Schlachthof B, Reizdauer 15 Sekunden, Bewegungsmuster¹ während der Heißwasser-Reizapplikation korreliert mit Gehirnnerven-Befunden

	MÖ	KSV	HZ	BRH	SV	BK	TGV	KS	TDS
n²	38	30	25	28	11	13	17	9	8
Negativ	20 (53 %)	20 (67 %)	6 (24 %)	26 (93 %)	2 (18 %)	5 (38 %)	7 (41 %)	1 (11 %)	2 (25 %)
Positiv (+/++)	18 (47 %)	10 (33 %)	19 (76 %)	2 (7 %)	9 (82 %)	8 (62 %)	10 (59 %)	8 (89 %)	6 (75 %)
n³	18	10	19	3	9	8	10	8	6
AT (+)	2 (11 %)	2 (20 %)	3 (16 %)	1 (50 %)	1 (11 %)	-	2 (20 %)	-	1 (17 %)
NST (+)	3 (17 %)	1 (10 %)	1 (5 %)	-	2 (22 %)	-	1 (10 %)	-	1 (17 %)
Doppelt (++)	13 (72 %)	7 (70 %)	15 (79 %)	1 (50 %)	6 (67 %)	8 (100 %)	7 (70 %)	8 (100 %)	4 (66 %)

¹ MÖ = Maul öffnen; HZ = Hochziehen; KS = Kopf schütteln; TDS = Tonisch dorsales Strecken; SV = Strampelnde Vordergliedmaße; KSV = Kurzes Strecken Vordergliedmaßen; BK = Beugen Karpalgelenk; TGV = Tonisch gestreckte Vordergliedmaßen; BBH = Bewegung Becken/Hintergliedmaße

² Anzahl Schweine mit genanntem Bewegungsmuster während der Reizapplikation

³ Anzahl Schweine mit einfach oder doppelt positiver Gehirnnerven-Befund

AT = Augentest, NST = Nasenscheidewandtest, Doppelt = Augen- und Nasenscheidewandtest

Tab. 25: Schlachthof B1, Reizdauer fünf Sekunden, Bewegungsmuster¹ während der Heißwasser-Reizapplikation korreliert mit Gehirnnerven-Befunden

	MÖ	KSV	HZ	BRH	SV	BK	TGV	KS	TDS
n²	32	19	20	33	4	10	8	3	2
Negativ	19 (59 %)	9 (47 %)	7 (35 %)	28 (85 %)	-	1 (10 %)	3 (38 %)	-	-
Positiv (+/++)	13 (41 %)	10 (53 %)	13 (65 %)	5 (15 %)	4 (100 %)	9 (90 %)	5 (62 %)	3 (100 %)	2 (100 %)
n³	13	10	13	5	4	9	5	3	2
AT (+)	3 (23 %)	2 (20 %)	1 (7 %)	-	1 (25 %)	1 (11 %)	-	1 (33 %)	-
NST (+)	2 (15 %)	3 (30 %)	3 (23 %)	1 (20 %)	1 (25 %)	2 (22 %)	2 (40 %)	-	-
Doppelt (++)	8 (62 %)	5 (50 %)	9 (70 %)	4 (80 %)	2 (50 %)	6 (67 %)	3 (60 %)	2 (67 %)	2 (100 %)

¹ MÖ = Maul öffnen; HZ = Hochziehen; KS = Kopf schütteln; TDS = Tonisch dorsales Strecken; SV = Strampelnde Vordergliedmaße; KSV = Kurzes Strecken Vordergliedmaßen; BK = Beugen Karpalgelenk; TGV = Tonisch gestreckte Vordergliedmaßen; BBH = Bewegung Becken/Hintergliedmaße

² Anzahl Schweine mit genanntem Bewegungsmuster während der Reizapplikation

³ Anzahl Schweine mit einfach oder doppelt positiver Gehirnnerven-Befund

AT = Augentest, NST = Nasenscheidewandtest, Doppelt = Augen- und Nasenscheidewandtest

Tab. 26: Schlachthof C, Reizdauer 15 Sekunden, Bewegungsmuster¹ während der Heißwasser-Reizapplikation korreliert mit Gehirnnerven-Befunden

	MÖ	KSV	HZ	BRH	SV	BK	TGV	KS	TDS
n²	0	1	0	0	1	1	1	0	0
Negativ	-	1 (100 %)	-	-	1 (100 %)	1 (100 %)	1 (100 %)	-	-
Positiv (+/++)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ MÖ = Maul öffnen; HZ = Hochziehen; KS = Kopf schütteln; TDS = Tonisch dorsales Strecken; SV = Strampelnde Vordergliedmaße; KSV = Kurzes Strecken Vordergliedmaßen; BK = Beugen Karpalgelenk; TGV = Tonisch gestreckte Vordergliedmaßen; BBH = Bewegung Becken/Hintergliedmaße

² Anzahl Schweine mit genanntem Bewegungsmuster während der Reizapplikation

Tab. 27: Bewegungsmusterkombinationen¹ während der Heißwasser-Reizapplikation, 9er Kombination

	Schlachthof A	Schlachthof B	Schlachthof B1 ²	Schlachthof C	Gesamt
n bewegt in Reiz	63	72	63	1	199
BBH	10	22	27	-	59
MÖ	6	5	9	-	20
MÖ, BS	8	5	5	-	18
KSV	5	3	-	-	8
MÖ, HZ, KSV, BK	-	4	3	-	7
MÖ, HZ	1	1	2	-	4
MÖ, HZ, KSV	1	1	2	-	4
HZ, SV	3	-	1	-	4
MÖ, HZ, KS, SV, BK	1	1	1	-	3
MÖ, HZ, SV, KSV, BK	3	-	-	-	3
MÖ, HZ, KSV, TGV	-	1	2	-	3
MÖ, HZ, BK	-	2	1	-	3
MÖ, KSV, BK	2	1	-	-	3
MÖ, KSV, TGV	-	2	1	-	3
MÖ, HZ, KS, SV, KSV, BK, BBH	1	1	-	-	2
MÖ, HZ, TDS, SV, TGV	-	2	-	-	2
MÖ, HZ, TDS, TGV	-	2	-	-	2
MÖ, SV, KSV	-	2	-	-	2
MÖ, KSV, TGV, BBH	1	1	-	-	2
HZ, KS, KSV, BK, BBH	2	-	-	-	2
HZ, KSV	1	-	1	-	2
MÖ, HZ, KS, TDS, SV, BK	-	1	-	-	1
MÖ, HZ, KS, TDS, KSV, BK, TGV, BBH	-	-	1	-	1
MÖ, HZ, KS, TDS, TGV	-	1	-	-	1
MÖ, HZ, KS, SV, KSV	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, KS, SV, KSV, BK	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, KS, SV, KSV, BK, TGV	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, KS, SV, KSV, BBH	-	-	1	-	1

Anhang

	Schlachthof A	Schlachthof B	Schlachthof B1 ²	Schlachthof C	Gesamt
n bewegt in Reiz	63	72	63	1	199
MÖ, HZ, KS, KSV, BBH	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, TDS, SV	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, TDS, KSV, BK, TGV	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, TDS, BK, TGV	-	-	1	-	1
MÖ, HZ, SV, KSV, BK, BBH	-	-	1	-	1
MÖ, HZ, SV, KSV, TGV	-	1	-	-	1
MÖ, HZ, SV, TGV, BBH	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, KSV, TGV, BBH	-	-	1	-	1
MÖ, HZ, KSV, BBH	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, TGV	-	1	-	-	1
MÖ, KS, KSV	-	1	-	-	1
MÖ, TDS, TGV	1	-	-	-	1
MÖ, TDS, TGV, BBH	1	-	-	-	1
MÖ, KSV, BK, BBH	-	-	1	-	1
MÖ, BK	-	1	-	-	1
HZ	1	-	-	-	1
HZ, KS, TDS, TGV	-	1	-	-	1
HZ, KS, SV, KSV	1	-	-	-	1
HZ, KS, SV, KSV, BK	-	1	-	-	1
HZ, KS, SV, KSV, TGV	-	1	-	-	1
HZ, KS, KSV, BK, TGV, BBH	1	-	-	-	1
HZ, SV, KSV, BBH	1	-	-	-	1
HZ, KSV, BK	-	1	-	-	1
HZ, KSV, BBH	-	1	-	-	1
HZ, BK, TGV	-	-	1	-	1
HZ, TGV, BBH	-	-	1	-	1
KS, KSV, BBH	1	-	-	-	1
TDS, KSV	-	1	-	-	1
SV, KSV	1	-	-	-	1
SV, KSV, BK, TGV	-	-	-	1	1

Anhang

	Schlachthof A	Schlachthof B	Schlachthof B1 ²	Schlachthof C	Gesamt
n bewegt in Reiz	63	72	63	1	199
SV, KSV, BK, BBH	1	-	-	-	1
KSV, TGV	-	1	-	-	1
KSV, TGV, BBH	-	1	-	-	1
TGV, BBH	-	1	-	-	1

¹ MÖ = Maul öffnen; HZ = Hochziehen; KS = Kopf schütteln; TDS = Tonisch dorsales Strecken; SV = Strampelnde Vordergliedmaße; KSV = Kurzes Strecken Vordergliedmaßen; BK = Beugen Karpalgelenk; TGV = Tonisch gestreckte Vordergliedmaßen; BBH = Bewegung Becken/Hintergliedmaße

² Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“

Tab. 28: Bewegungsmusterkombinationen¹ während der Heißwasser-Reizapplikation, 5er Kombination

	Schlachthof A	Schlachthof B	Schlachthof B1 ²	Schlachthof C	Gesamt
n bewegt im Reiz	63	72	63	1	199
BBH	10	22	27	-	59
MÖ	6	5	9	-	20
MÖ, KSV	8	5	5	-	18
MÖ, Auf / KS, RV, KSV	7	6	5	-	18
MÖ, Auf / KS, RV	3	10	3	-	16
MÖ, RV, KSV	2	5	1	-	8
KSV	5	3	-	-	8
MÖ, Auf / KS, RV, KSV, BBH	1	1	4	-	6
Auf, RV	3	1	2	-	6
MÖ, Auf / KS, KSV	1	2	2	-	5
MÖ, Auf / KS	1	1	2	-	4
MÖ, Auf / KS, RV, BBH	3	1	-	-	4
Auf / KS, RV, KSV	1	3	-	-	4
Auf / KS, RV, KSV, BBH	4	-	-	-	4
MÖ, RV, KSV, BBH	1	1	1	-	3
Auf / KS, KSV	1	1	1	-	3

Anhang

	Schlachthof A	Schlachthof B	Schlachthof B1 ²	Schlachthof C	Gesamt
n bewegt im Reiz	63	72	63	1	199
RV, KSV	1	1	-	1	3
MÖ, Auf / KS, KSV, BBH	2	-	-	-	2
Auf / KS, KSV, BBH	1	1	-	-	2
RV, KSV, BBH	1	1	-	-	2
MÖ, RV	-	1	-	-	1
Auf / KS	1	-	-	-	1
Auf / KS, RV, BBH	-	-	1	-	1
RV, BBH	-	1	-	-	1

¹ MÖ = Maul öffnen; Auf / KS = Aufrichteversuche und/oder Kopf schütteln (Hochziehen, Tonisch dorsales Strecken, Kopf schütteln); RV = Reaktionen Vordergliedmaße (Strampelnde Vordergliedmaße, Beugen Karpalgelenk, Tonisch gestreckte Vordergliedmaßen); KSV = Kurzes Strecken Vordergliedmaßen; BBH = Bewegung Becken/Hintergliedmaße

² Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“

Tab. 29: Bewegungsmusterkombinationen¹ während der Heißwasser-Reizapplikation, 9er Kombination, korreliert mit Gehirnnerven-Befunden

	Schlachthof A		Schlachthof B		Schlachthof B1 ²		Schlachthof C		Gesamt	
n bewegt im Reiz	34 _{pos}	29 _{neg}	23 _{pos}	49 _{neg}	17 _{pos}	46 _{neg}	0 _{pos}	1 _{neg}	74 _{pos}	125 _{neg}
BBH	-	10	-	22	-	27	-	-	-	59 (47 %)
MÖ	1	5	2	3	-	9	-	-	3 (4 %)	17 (14 %)
MÖ, KSV	2	6	-	5	2	3	-	-	4 (5 %)	14 (11 %)
KSV	2	3	-	3	-	-	-	-	2 (3 %)	6 (5 %)
MÖ, HZ, KSV, BK	-	-	2	2	2	1	-	-	4 (5 %)	3 (2 %)
MÖ, HZ	1	-	-	1	1	1	-	-	2 (3 %)	2 (2 %)
MÖ, HZ, KSV	1	-	-	1	-	2	-	-	1 (1 %)	3 (2 %)
HZ, SV	3	-	-	-	1	-	-	-	4 (5 %)	-
MÖ, HZ, KS, SV, BK	1	-	1	-	1	-	-	-	3 (4 %)	-
MÖ, HZ, SV, KSV, BK	2	1	-	-	-	-	-	-	2 (3 %)	1 (1 %)

Anhang

	Schlachthof A		Schlachthof B		Schlachthof B1 ²		Schlachthof C		Gesamt	
n bewegt im Reiz	34 _{pos}	29 _{neg}	23 _{pos}	49 _{neg}	17 _{pos}	46 _{neg}	0 _{pos}	1 _{neg}	74 _{pos}	125 _{neg}
MÖ, HZ, KSV, TGV	-	-	1	-	-	2	-	-	1 (1 %)	2 (2 %)
MÖ, HZ, BK	-	-	2	-	1	-	-	-	3 (4 %)	-
MÖ, KSV, BK	1	1	-	1	-	-	-	-	1 (1 %)	2 (2 %)
MÖ, KSV, TGV	-	-	-	2	1	-	-	-	1 (1 %)	2 (2 %)
MÖ, HZ, KS, SV, KSV, BK, BBH	1	-	-	1	-	-	-	-	1 (1 %)	1 (1 %)
MÖ, HZ, TDS, SV, TGV	-	-	2	-	-	-	-	-	2 (3 %)	-
MÖ, HZ, TDS, TGV	-	-	1	1	-	-	-	-	1 (1 %)	1 (1 %)
MÖ, SV, KSV	-	-	1	1	-	-	-	-	1 (1 %)	1 (1 %)
MÖ, KSV, TGV, BBH	1	-	-	1	-	-	-	-	1 (1 %)	1 (1 %)
HZ, KS, KSV, BK, BBH	2	-	-	-	-	-	-	-	2 (3 %)	-
HZ, KSV	1	-	-	-	1	-	-	-	2 (3 %)	-
MÖ, HZ, KS, TDS, SV, BK	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, KS, TDS, KSV, BK, TGV, BBH	-	-	-	-	1	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, KS, TDS, TGV	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, KS, SV, KSV	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, KS, SV, KSV, BK	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, KS, SV, KSV, BK, TGV	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, KS, SV, KSV, BBH	1	-	-	-	1	-	-	-	2 (3 %)	-
MÖ, HZ, KS, SV, BK, BBH	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, KS, SV, TGV, BBH	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, KS, KSV, BBH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MÖ, HZ, TDS, SV	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, TDS, KSV, BK, TGV	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, TDS, BK, TGV	-	-	-	-	1	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, SV, KSV, BK, BBH	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, SV, KSV, TGV	-	-	-	-	1	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, SV, TGV, BBH	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, HZ, KSV, TGV, BBH	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1 (1 %)

Anhang

	Schlachthof A		Schlachthof B		Schlachthof B1 ²		Schlachthof C		Gesamt	
n bewegt im Reiz	34 _{pos}	29 _{neg}	23 _{pos}	49 _{neg}	17 _{pos}	46 _{neg}	0 _{pos}	1 _{neg}	74 _{pos}	125 _{neg}
MÖ, HZ, KSV, BBH	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)
MÖ, HZ, TGV	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, KS, KSV	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, TDS, TGV	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, TDS, TGV, BBH	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, KSV, BK, BBH	-	-	-	-	1	-	-	-	1 (1 %)	-
MÖ, BK	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)
HZ	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
HZ, KS, TDS, TGV	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
HZ, KS, SV, KSV	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
HZ, KS, SV, KSV, BK	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
HZ, KS, SV, KSV, TGV	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
HZ, KS, KSV, BK, TGV, BBH	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
HZ, SV, KSV, BBH	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
HZ, KSV, BK	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
HZ, KSV, BBH	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)	-
HZ, BK, TGV	-	-	-	-	1	-	-	-	1 (1 %)	-
HZ, TGV, BBH	-	-	-	-	1	-	-	-	1 (1 %)	-
KS, KSV, BBH	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)
TDS, KSV	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)
SV, KSV	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)
SV, KSV, BK, TGV	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1 (1 %)
SV, KSV, BK, BBH	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (1 %)	- (0 %)
KSV, TGV	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)
KSV, TGV, BBH	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)
TGV, BBH	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1 (1 %)

¹ MÖ = Maul öffnen; HZ = Hochziehen; KS = Kopf schütteln; TDS = Tonisch dorsales Strecken; SV = Strampelnde Vordergliedmaße; KSV = Kurzes Strecken Vordergliedmaßen; BK = Beugen Karpalgelenk; TGV = tonisch. gestreckte Vordergliedmaßen; BBH = Bewegung Becken/Hintergliedmaße

² Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“

Tab. 30: Haltungsmusterkombinationen¹ von Schweinen mit steif veränderter Körperhaltung am Ende der Nachenblutestrecke

	Schlachthof A	Schlachthof B	Schlachthof B1 ²	Schlachthof C	Gesamt
n steif veränderte Körperhaltung	8	1	0	1	10
TGV	2	-	-	1	3
MÖ, TGV	2	-	-	-	2
MÖ	1	-	-	-	1
MÖ, TDS	-	1	-	-	1
MÖ, TDS, TGV	1	-	-	-	1
TDS	1	-	-	-	1
TDS, TGV	1	-	-	-	1

¹ MÖ = Maul öffnen; TDS = Tonisch dorsales Strecken; TGV = Tonisch gestreckte Vordergliedmaßen

² Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“

SH = Schlachthof

Tab. 31. Spontane Bewegungsmusterkombinationen¹, drei bis vier Minuten nach Entblutestich, nach Häufigkeit sortiert

	Schlachthof A	Schlachthof B	Schlachthof B1 ²	Schlachthof C	Gesamt
n mit Spontanbewegung	161	240	169	19	589
BBH	63	116	87	18	284
MÖ	55	68	54	-	177
MÖ, BV	6	10	7	-	23
MÖ, BBH	6	8	6	-	20
MÖ, TDS, TGV	5	4	5	-	14
MÖ, TGV	6	5	2	-	13
MÖ, TDS, BV, TGV	3	6	2	-	11
MÖ, BV, BBH	2	6	-	-	8
MÖ, BV, TGV	2	5	-	-	7
MÖ, TDS, TGV, BBH	4	1	-	-	5
MÖ, TGV, BBH	1	2	1	-	4

	Schlachthof A	Schlachthof B	Schlachthof B1 ²	Schlachthof C	Gesamt
n mit Spontanbewegung	161	240	169	19	589
MÖ, HZ, TDS, BV, TGV	1	2	-	-	3
MÖ, TDS	1	1	1	-	3
MÖ, HZ	1	-	1	-	2
MÖ, HZ, BV	-	1	1	-	2
TGV	-	2	-	-	2
MÖ, HZ, TDS, BV, TGV, BBH	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, TDS, TGV	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, BV, TGV	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, BV, TGV, BBH	1	-	-	-	1
MÖ, HZ, TGV	-	1	-	-	1
MÖ, KS	1	-	-	-	1
MÖ, TDS, BV	-	1	-	-	1
HZ, BV, TGV, BBH	-	-	-	1	1
TDS, TGV, BBH	-	1	-	-	1
MÖ, HZ, BV, BBH	-	-	1	-	1
MÖ, BV, TGV, BBH	-	-	1	-	1

¹ MÖ = Maul öffnen; HZ = Hochziehen; KS = Kopf schütteln; TDS = Tonisch dorsales Strecken; BV = Bewegungen Vordergliedmaße (Strampelnde Vordergliedmaße, Beugen Karpalgelenk, Kurzes Strecken Vordergliedmaßen); TGV = Tonisch gestreckte Vordergliedmaßen; BBH = Bewegung Becken/Hintergliedmaße

² Schlachthof B mit Versuchsvariante „verkürzte Reizdauer“

Tab. 32: Analyse der spontanen Maulöffnungsbewegungen ein bis zwei Minuten nach Entblutestich je nach Reiz-Reaktion, Schlachthof B

n mit Maulöffnungs-Bewegung	ja 77							nein 302							
	\tilde{x}	Q _{.25}	Q _{.75}	IQR	\bar{x}	sd	se	\tilde{x}	Q _{.25}	Q _{.75}	IQR	\bar{x}	sd	se	p _{ja/nein}
n MÖ	7,0	5,0	10,0	5,0	7,7	3,6	0,4	6,0	4,0	9,0	5,0	6,8	3,9	0,2	0,02
n MÖ / Dauer Intervalle *60	12,6	10,0	15,0	5,0	12,9	3,8	0,4	12,5	9,6	16,9	7,3	14,2	9,0	0,5	0,87
n MÖ / Beobachtungszeit *60	7,8	5,2	10,5	5,3	8,0	3,6	0,4	5,1	3,1	7,7	4,6	5,9	3,6	0,2	< 0,001
t Beobachtungsbeginn bis 1. MÖ (s)	9,0	3,5	18,5	15,0	13,3	12,6	1,4	6,0	2,0	14,0	12,0	9,1	8,9	0,5	< 0,01
t letztes MÖ bis Beob.ende (s)	4,0	1,5	11,5	10,0	8,5	9,9	1,1	24,0	7,5	44,0	36,5	31,0	30,5	1,8	< 0,001
Mittelwerte Intervalllängen (s)	6,0	4,7	7,3	2,6	6,2	2,1	0,2	6,0	4,8	8,0	3,3	6,6	3,0	0,2	0,51
Mediane Intervalllängen (s)	5,0	3,6	7,0	3,4	5,4	2,4	0,3	5,0	4,0	7,5	3,5	5,9	2,9	0,2	0,23
min. Intervalllänge (s)	3,0	2,0	5,0	3,0	3,9	2,3	0,3	3,0	2,0	5,0	3,0	3,9	2,7	0,2	0,67
max. Intervalllänge (s)	10,0	8,0	12,5	4,5	11,1	5,2	0,6	10,0	6,0	13,0	7,0	10,6	6,6	0,4	0,26
Intervall-sd (s)	2,1	1,4	3,0	1,6	2,4	1,7	0,2	1,9	1,0	3,2	2,2	2,5	2,4	0,1	0,52
Verlauf der MÖ-Intervalle (ersten bis letzten Intervall)	-3,0	-6,8	1,0	7,8	-1,9	6,6	0,8	-3,0	-6,0	0,0	6,0	-3,2	6,7	0,4	0,40

\tilde{x} = Median, Q_{.25} = unteres Quartil, Q_{.75} = oberes Quartil, IQR = Interquartilsabstand, \bar{x} = Mittelwert, sd = Standardabweichung, se = Standardfehler

MÖ = Maul-Öffnung, t = Zeit, s = Sekunde, Beob.ende = Beobachtungsende, min. = Minimale, max. = Maximale

Tab. 33: Analyse der spontanen Maulöffnungsbewegungen drei bis vier Minuten nach Entblutestich je nach Reiz-Reaktion, Schlachthof A

n mit Maulöffnungs-Bewegung	ja 53							nein 46							p _{ja/nein}
	\tilde{x}	Q _{.25}	Q _{.75}	IQR	\bar{x}	sd	se	\tilde{x}	Q _{.25}	Q _{.75}	IQR	\bar{x}	sd	se	
n MÖ	9,0	6,0	11,0	5,0	8,8	4,5	0,6	6,0	3,0	8,0	5,0	6,2	3,4	0,5	< 0,001
n MÖ / Dauer Intervalle *60	6,9	5,6	8,5	2,9	8,3	7,7	1,1	5,9	5,4	7,4	2,0	6,4	1,7	0,3	0,06
n MÖ / Beobachtungszeit *60	5,9	4,5	7,1	2,6	6,0	2,6	0,4	4,4	2,4	5,6	3,2	4,1	1,9	0,3	< 0,001
t Beobachtungsbeginn bis 1. MÖ (s)	3,0	1,0	8,5	7,5	6,7	10,6	1,7	1,5	0,0	6,0	6,0	5,7	10,9	1,7	0,20
t letztes MÖ bis Beob.ende (s)	4,0	2,0	7,0	5,0	7,3	12,7	1,7	14,0	3,0	55,0	52,0	28,1	30,0	4,6	< 0,001
Mittelwerte Intervalllängen (s)	10,3	8,6	13,2	4,6	10,7	3,9	0,5	12,7	10,6	14,3	3,7	12,7	3,9	0,6	< 0,01
Mediane Intervalllängen (s)	9,8	7,0	12,0	5,0	10,1	4,2	0,6	12,0	10,5	13,9	3,4	12,3	4,1	0,6	0,01
Min. Intervalllänge (s)	7,0	4,0	9,0	5,0	7,1	3,9	0,5	10,0	7,0	12,0	5,0	9,7	5,1	0,8	< 0,01
Max. Intervalllänge (s)	14,0	12,0	20,0	8,0	15,7	6,9	1,0	16,0	14,0	19,3	5,3	15,8	5,1	0,8	0,32
Intervall-sd (s)	2,0	1,5	4,2	2,7	3,0	2,5	0,3	1,8	1,1	3,7	2,6	2,3	1,6	0,2	0,23
Verlauf der MÖ-Intervalle (erstes-letzten Intervall)	-1,0	-4,0	3,8	7,8	0,2	7,8	1,1	-1,5	-5,0	0,8	5,8	-1,8	6,7	1,0	0,31

\tilde{x} = Median, Q_{.25} = unteres Quartil, Q_{.75} = oberes Quartil, IQR = Interquartilsabstand, \bar{x} = Mittelwert, sd = Standardabweichung, se = Standardfehler

MÖ = Maul-Öffnung, t = Zeit, s = Sekunde, Beob.ende = Beobachtungsende, min. = minimale, max. = maximale



Abb. 47 a-c: Schwein mit Bewegung während der Heißwasser-Reizapplikation, Schlachthof A:
Kombination aus mehreren Bewegungsmustern:
„Hochziehen Kopf/Nacken“, „Strampeln Vordergliedmaße“, „Beugen Karpalgelenk“ und „Maul öffnen“;
Gehirnnerven-Befund: positiv

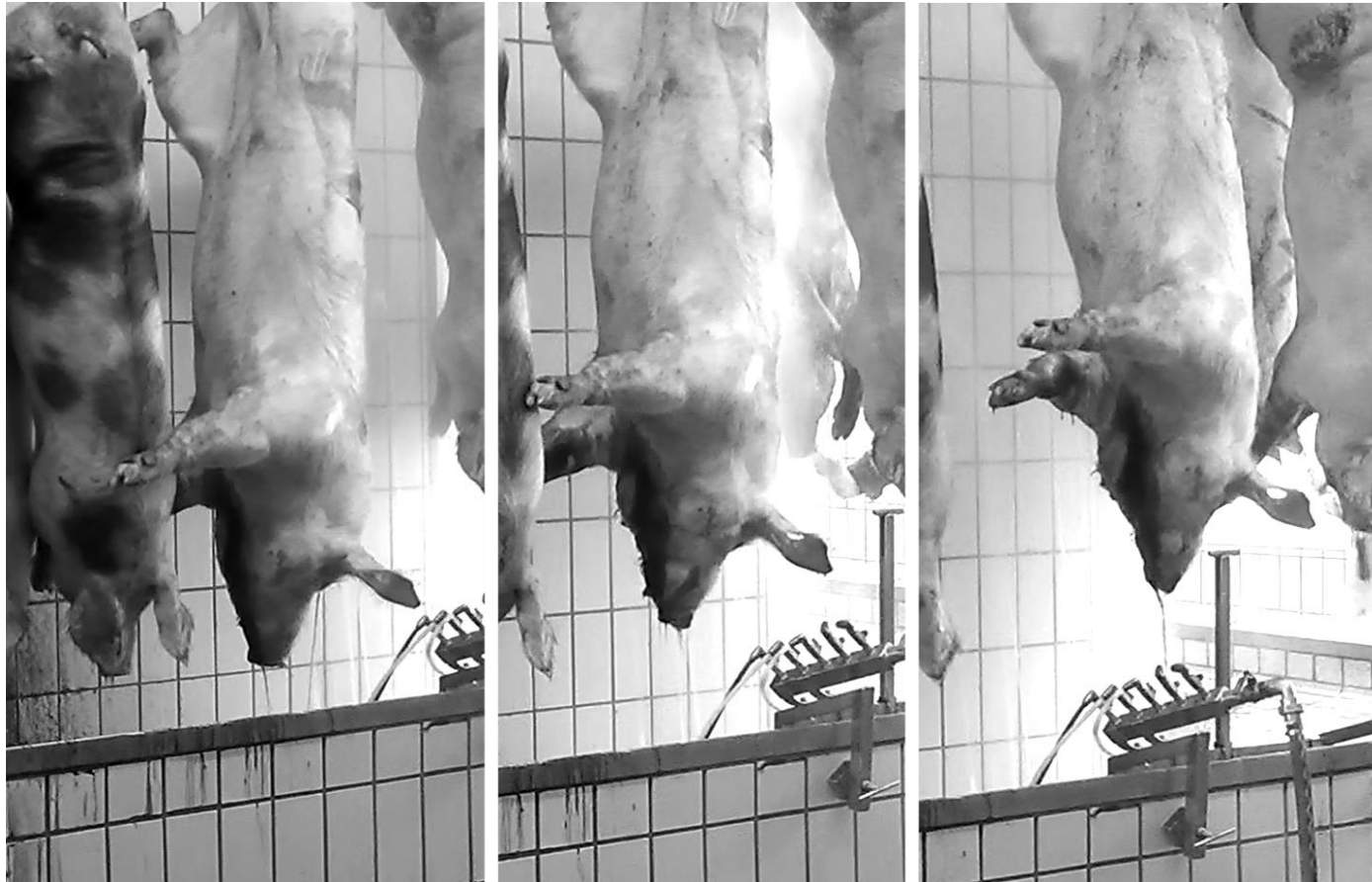


Abb. 48 a-c: Schwein mit Bewegung während der Heißwasser-Reizapplikation, Schlachthof B:

Kombination aus mehreren Bewegungsmustern:

„Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“, „Maul öffnen“, leichtes „Hochziehen Kopf/Nacken“ bzw. „Grimassieren“;

Gehirnnerven-Befund: positiv

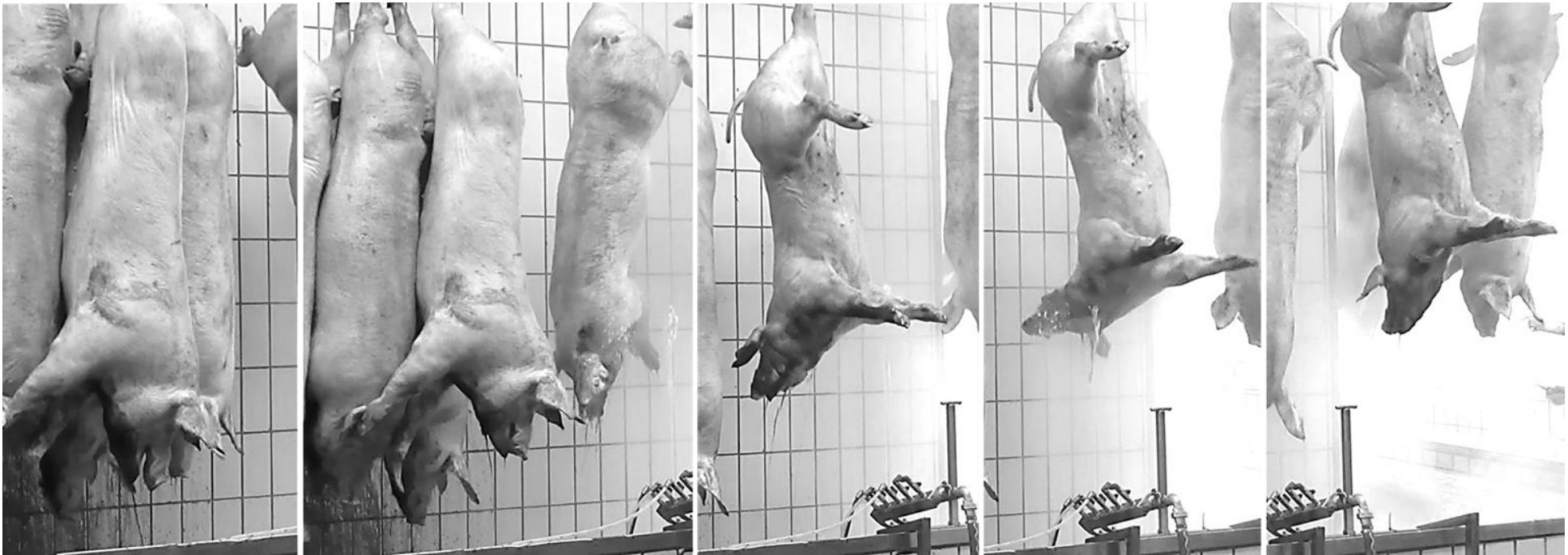


Abb. 49 a-e. Schwein mit Bewegungen vor und während der Heißwasser-Reizapplikation, Schlachthof B:

Kombination aus mehreren Bewegungsmustern:

Spontanbewegungen: „Maul öffnen“, „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ und „Tonisch dorsales Strecken“;

während der Reizapplikation: „Maul öffnen“, „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“, „Hochziehen Kopf/Nacken“ und „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“;

Nach Reizapplikation: erneut „Maul öffnen“, „Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“ und „Tonisch dorsales Strecken“

Gehirnnerven-Befund: positiv

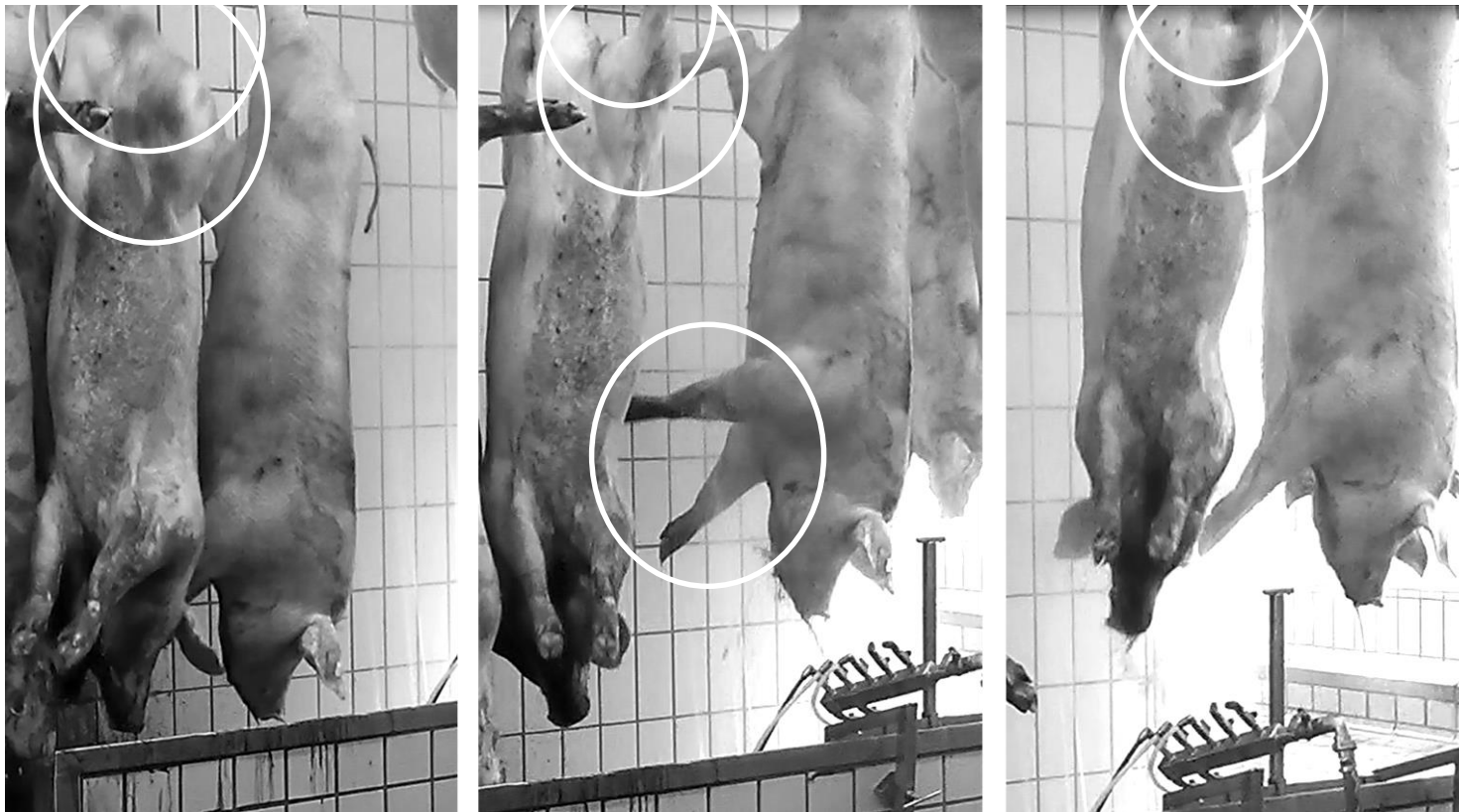


Abb. 50 a-c: Zwei Schweine mit Bewegungen vor und während der Heißwasser-Reizapplikation, Schlachthof B:

Schwein rechts: vor der Reizapplikation unauffällig; während der Reizapplikation: ausschließliche „Kurzes Strecken Vordergliedmaße“
Schwein links: vor der Reizapplikation, Spontanbewegung: ausschließliche „Bewegungen Becken/Hintergliedmaße“; während der Reizapplikation: ausschließliche „Bewegung Becken/Hintergliedmaße“;
Gehirnnerven-Befund beider Tiere: negativ



Abb. 51: Schwein mit spontaner Bewegung in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich, Schlachthof A:

Spontanbewegungsmuster-Kombination:

„Tonisch gestreckte Vordergliedmaße“, leichtes „Maul öffnen“ und „Hochziehen Kopf/Nacken“

In den Minuten 4 bis 5 nach Entblutestich mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und mit positivem Gehirnnerven-Befund



Abb. 52: Schwein mit spontaner Bewegung in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich, Schlachthof A:

Spontane Bewegungsmuster-Kombination:

„Tonisch dorsales Strecken“, „Beugen Karpalgelenk“

In den Minuten 4 bis 5 nach Entblutestich mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und mit positivem Gehirnnerven-Befund



Abb. 53 a-c: Schwein mit mehrmaliger, spontaner Maulöffnungs-Bewegung in den Minuten 1 bis 2 nach Entblutestich, folgend eine deutliche Reaktion auf das Anschlingen am Ende der zweiten Minute



Abb. 54: Schwein mit spontaner, leichter Maulöffnungs-Bewegungen in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich, Schlachthof A:
Zusätzlich Verdrehung des Augapfels;
in den Minuten 4 bis 5 nach Entblutestich mit Reaktion auf den Heißwasser-Reiz und mit positivem Gehirnnerven-Befund.



Abb. 55 a-b: Schwein mit spontaner deutlicher Maulöffnung-Bewegung in den Minuten 3 bis 4 nach Entblutestich, Schlachthof A:
In den Minuten 4 bis 5 nach Entblutestich ohne Reaktion auf den Reiz und mit negativem Gehirnnerven-Befund

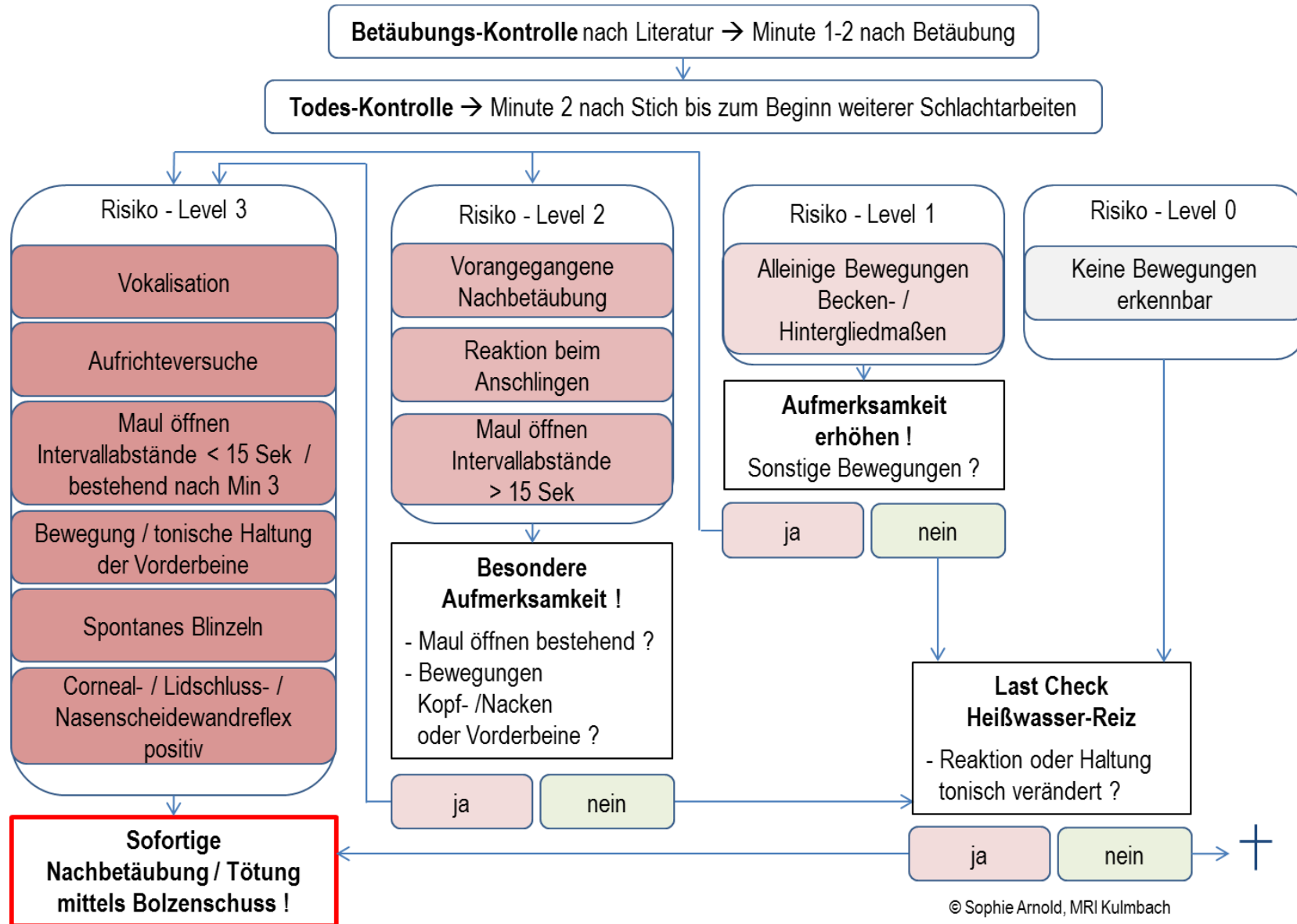


Abb. 56: Arbeitsanweisungen zur Todeskontrolle von Schlachtschweinen

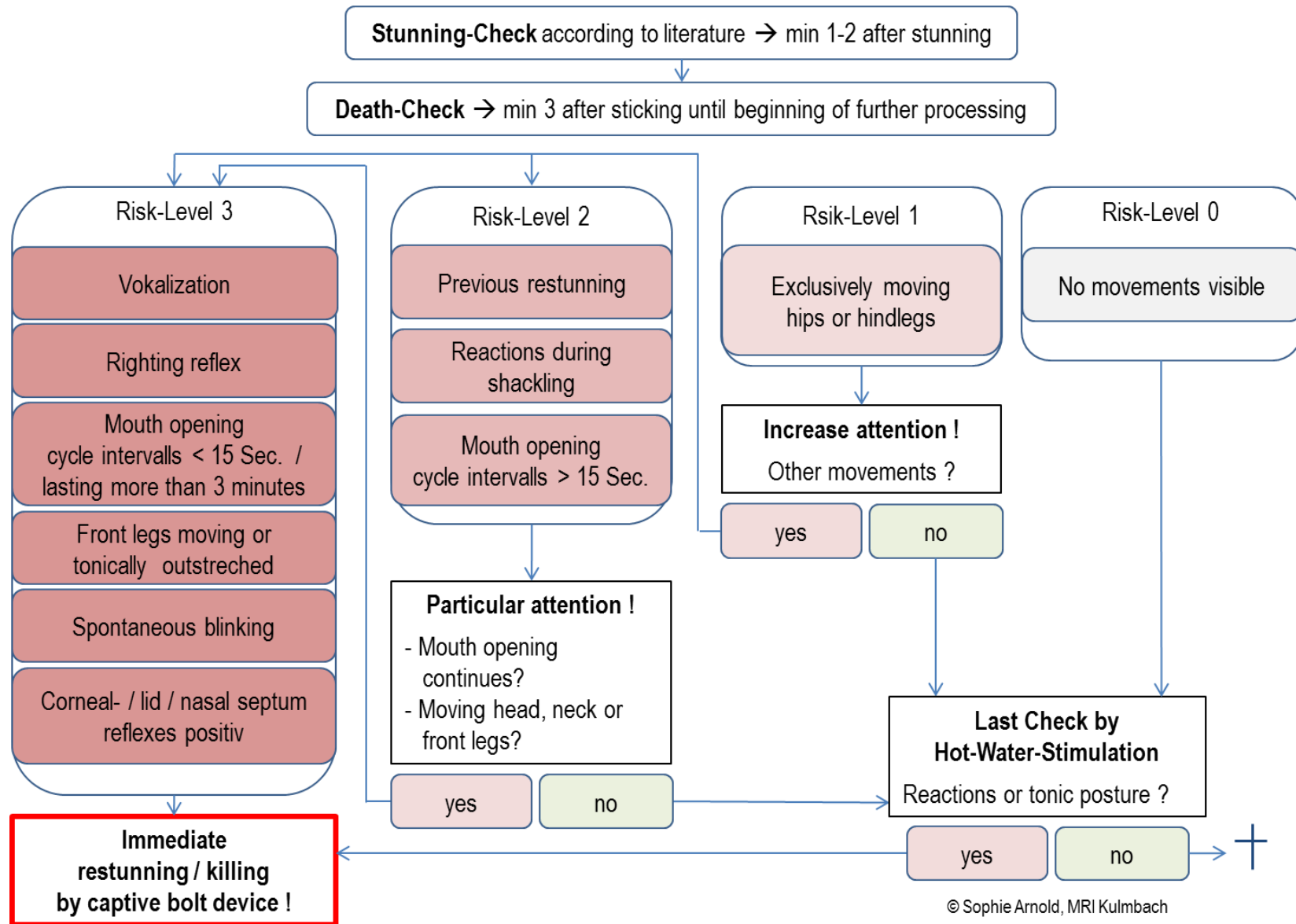
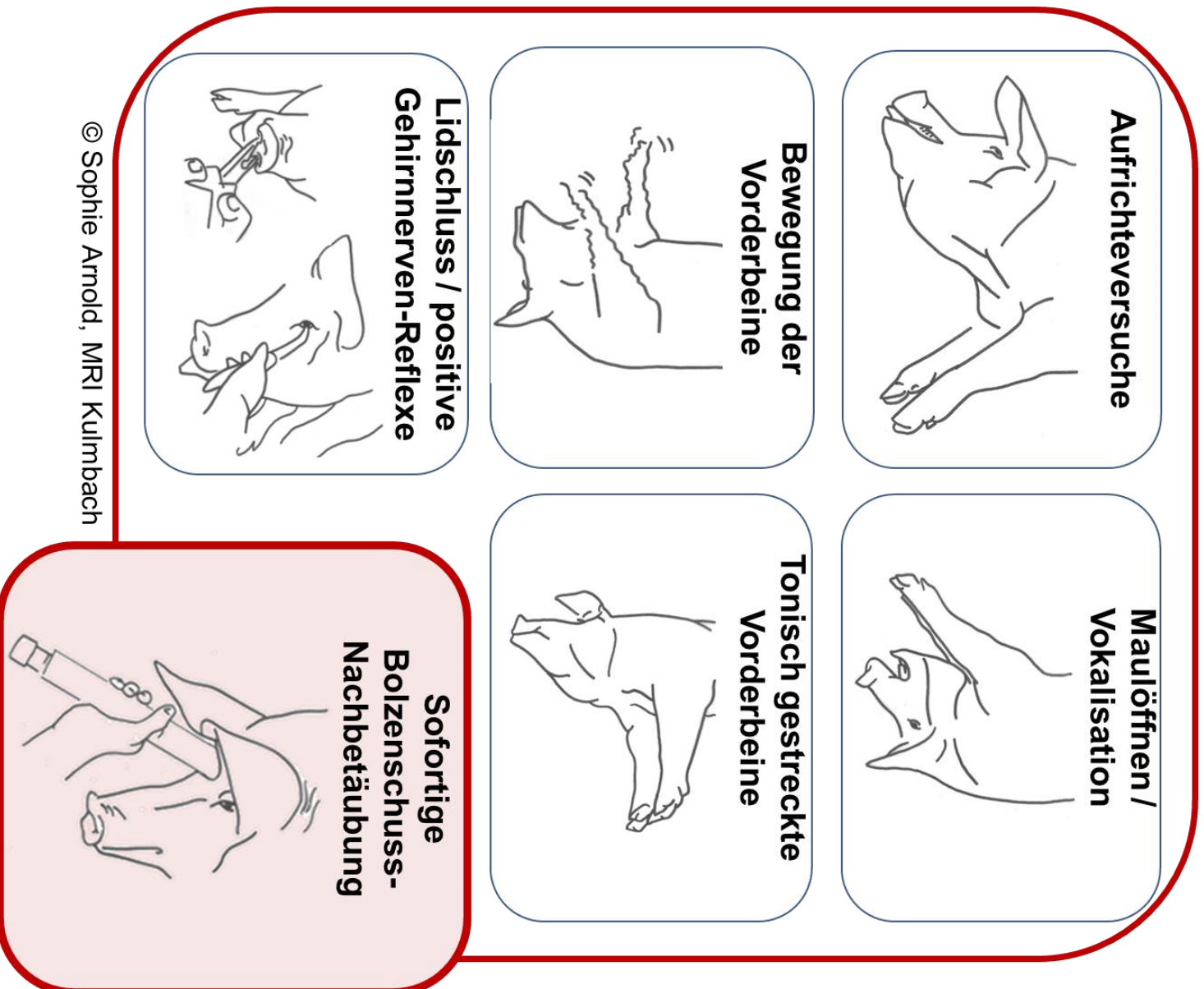


Abb. 57: Arbeitsanweisungen zur Todeskontrolle von Schlachtschweinen – in englischer Sprache

Kontrolle von Spontanbewegungen und Reaktionen auf einen Heißwasser-Reiz



© Sophie Arnold, MRI Kulmbach

Abb. 58: Visuell unterstützte Arbeitsanweisungen zur Kontrolle der Spontanbewegungen und Reiz-Reaktionen auf Heißwasser von Schlachtschweinen

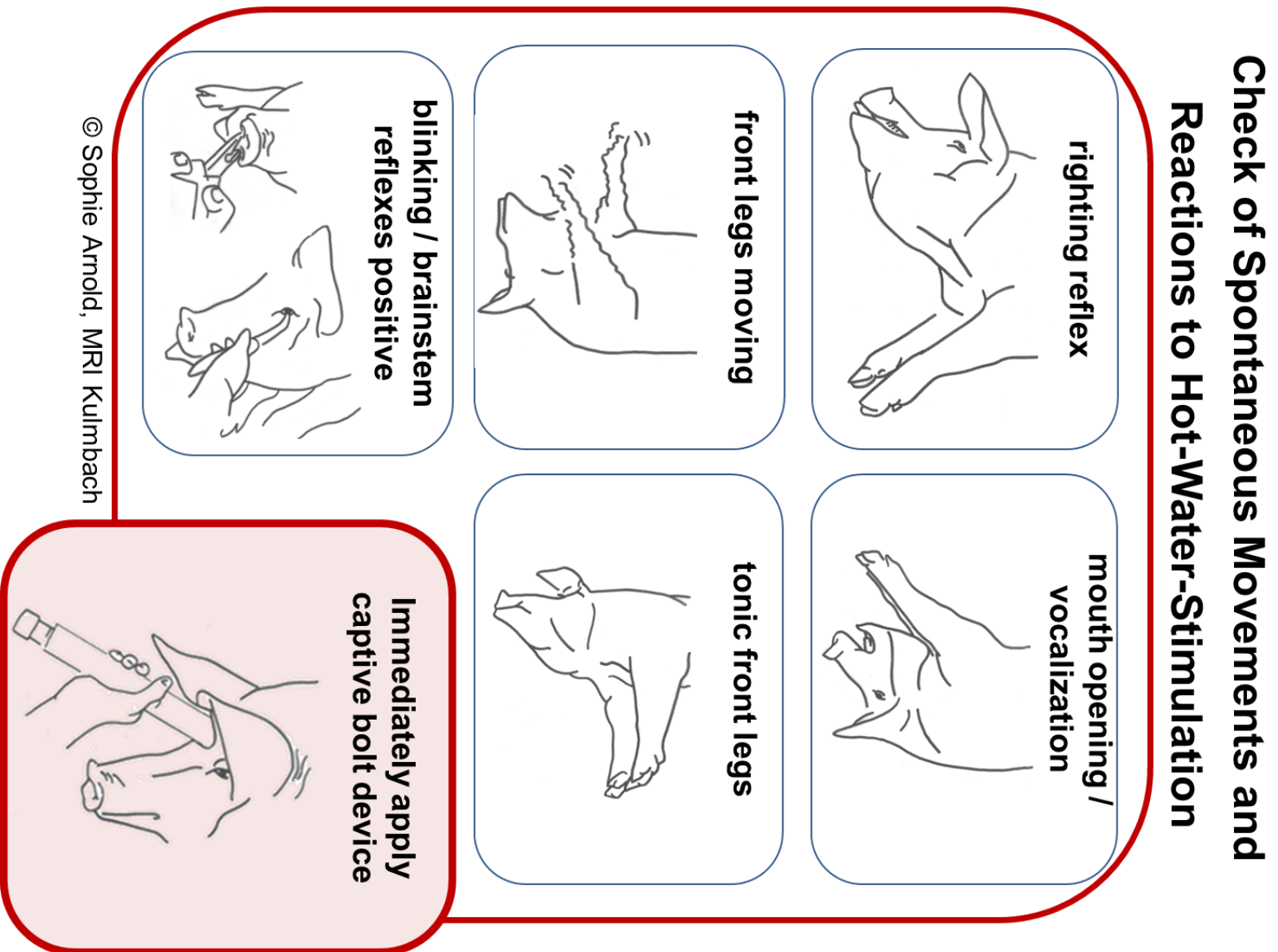


Abb. 59: Visuell unterstützte Arbeitsanweisungen zur Kontrolle der Spontanbewegungen und reizinduzierten Reaktionen auf Heißwasser von Schlachtschweinen – in englischer Sprache

Danksagung

Eine wissenschaftliche Arbeit ist nie das Werk einer einzelnen Person. Aufgrund dessen möchte ich mich ganz herzlich bei allen beteiligten Personen für ihr Engagement, ihre konstruktive Kritik, den intensiven Ideenaustausch und die motivierenden Worte bedanken.

Besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. Ernst Lücker vom Institut für Lebensmittelhygiene der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig für die Übernahme der Dissertation, seinem gründlichen Korrekturlesen und Vertrauen.

Herrn Prof. Dr. Klaus Troeger vom MRI Kulmbach danke ich für die Überlassung des Forschungsvorhabens, das gründliche Korrekturlesen meiner Dissertation und sein mir entgegengebrachtes Vertrauen.

Dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung danke ich für die Finanzierung des Forschungsvorhabens.

Auch bei der Fördergesellschaft für Fleischforschung e. V. möchte ich mich für das großzügige Stipendium bedanken.

Weiterer Dank gebührt Herrn Matthias Moje vom MRI Kulmbach, der mir während der Versuche, der Auswertungen der Daten und des Verfassens der Dissertation stets mit tatkräftiger Unterstützung behilflich war.

Für die Unterstützung bei der statistischen Auswertungen und für hilfreiche Tipps richtet sich ein besonderer Dank an Herrn Dr. Michael Judas und Herrn Dr. Peter Nitsch vom MRI Kulmbach.

Allen weiteren Mitarbeitern des MRI Kulmbach danke ich für die angenehme Arbeitsatmosphäre am Institut. Insbesondere jedoch möchte ich mich bei Judith Schwarz und Katharina Dörfler für die vielen zielführenden Diskussionen und ihre Freundschaft bedanken.

Bei den Projektpartnern möchte ich mich ebenfalls bedanken. Insbesondere den Mitarbeitern des Beratungs- und Schulungsinstitut für Tierschutz bei Transport und Schlachtung Herrn Simon Schreiber, Herrn Dr. Martin von Wenzlawowicz und Frau Dr. Karen von Holleben danke ich für die zielführende Zusammenarbeit. Der Firma BANSS Schlacht- und Fördertechnik GmbH und deren Mitarbeitern danke ich für die Konstruktionen und Bereitstellung der automatisierten Reizapplikations-Anlagen und den interessanten Wissensaustausch.

Zu besonderem Dank bin ich den beteiligten Schlachtbetrieben für ihr entgegengebrachtes Vertrauen, den Wissensaustausch und die stets tatkräftige Unterstützung des Schlachthofpersonals während und nach den durchgeführten Versuchen verpflichtet.

Abschließend möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Familie und meinem geliebten Freund Luis für ihre/seine Geduld, Ruhe und Unterstützung in jeglichen Belangen der Arbeit bedanken.